



TRABAJO FIN DE MÁSTER

Máster Universitario en
Sistemas de Información
Geográfica y Teledetección

TÍTULO:

**SEGUIMIENTO DE VIÑAS MEDIANTE
IMÁGENES MULTIESPECTRALES
AÉREAS Y DE SATÉLITE**

AUTOR: Caseras Saez de Asteasu, Iker

TUTORA: González de Audicana
Amenábar, María

SEPTIEMBRE - 2017



Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

ESCUELA TECNICA SUPERIOR

NEKAZARITZAKO INGENIARIEN

DE INGENIEROS AGRONOMOS

GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO

**SEGUIMIENTO DE VIÑAS MEDIANTE IMÁGENES MULTIESPECTRALES
AÉREAS Y DE SATÉLITE**

presentado por

CASERAS SAEZ DE ASTEASU, IKER

aurkeztua

tutorizado por

GONZÁLEZ DE AUDÍCANA AMENABAR, MARÍA

tutorizatua



MÁSTER EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN

MASTERRA INFORMAZIO SISTEMA GEOGRAFIKOETAN ETA TELEDETEKZIOAN

SEPTIEMBRE - 2017

AGRADECIMIENTOS

Tras la finalización de este proyecto deseo expresar mi agradecimiento a las siguientes personas y entidades:

A la profesora María González de Audicana Amenábar, por haberme aclarado diversas dudas en varios temas relacionados con la ejecución de este proyecto.

A la empresa AirEstudio por los consejos y proporcionarme los medios suficientes para poder llevar a cabo el presente documento.

A los propietarios de las parcelas estudiadas, la bodega Juan Campiñún, por permitirme determinar en ellas diversos parámetros de vigor del viñedo.

De igual manera mi profunda gratitud a todas aquellas personas que directa o indirectamente han formado parte de este trabajo.

Contenido o Índice

RESUMEN Y ABSTRACT	10
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. ESTADO DEL ARTE	11
1.1.1. AGRICULTURA DE PRECISIÓN	11
1.1.2. UTILIDAD E INTERÉS DE LAS IMÁGENES MULTIESPECTRALES Y TÉRMICAS EN VITICULTURA DE PRECISIÓN	14
1.1.3. RPAS	17
1.1.4. FOTOGRAMETRÍA	22
1.1.5. TELEDETECCIÓN ÓPTICA.....	22
1.1.6. ÍNDICES DE VEGETACIÓN	25
1.1.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENTRE CAPTURA DE LAS IMÁGENES MULTIESPECTRALES: RPAS VS PLATAFORMAS SATELITALES	32
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
3. ZONA DE ESTUDIO	34
.....	35
4. CAPTURA DE IMÁGENES.....	41
4.1. IMÁGENES RGB ADQUIRIDAS CON PHANTOM 4	41
4.2. IMÁGENES MULTIESPECTRALES ADQUIRIDAS CON SEQUOIA A BORDO DEL PHANTOM 3 PROFESSIONAL	42
4.3. IMÁGENES MULTIESPECTRALES ADQUIRIDAS CON LA PLATAFORMA SATELITAL SENTINEL-2	45
5. MÉTODOLOGÍA DE TRABAJO PARA GENERAR LOS MAPAS DE VIGOR.....	47
5.1. PLANIFICACIÓN DE LOS VUELOS FOTOGRAMÉTRICOS	47
5.1.1. PLANIFICACIÓN DEL VUELO FOTOGRAMÉTRICO PARA EL SENSOR RGB.....	50
5.1.2. PLANIFICACIÓN DEL VUELO FOTOGRAMÉTRICO PARA EL SENSOR MULTIESPECTRAL	52
5.2. EJECUCIÓN DE LOS VUELOS FOTOGRAMÉTRICOS	55
5.3. PRE-PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	56
5.3.1. PRE-PROCESADO DE IMÁGENES DEL SENSOR RGB DEL PHANTOM 4.....	56
5.3.2. PRE-PROCESADO DE IMÁGENES DEL SENSOR SEQUOIA DE PARROT	57
5.3.3. PRE-PROCESADO DE IMÁGENES DE LA PLATAFORMA SATELITAL SENTINEL 2 ..	61
5.4. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	62
5.4.1. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DEL SENSOR RGB DEL PHANTOM 4.....	62
5.4.2. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES	63

5.5.	COMPARATIVA DE RESULTADOS: PARROT SEQUOIA VS SENTINEL-2	69
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	70
6.1.	SENSOR RGB: MDS Y ORTOMOSAICO	70
6.2.	ANÁLISIS DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN (IV): PARROT SEQUOIA.....	72
6.2.1.	IMÁGENES DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN.....	72
6.2.2.	CORRELACIÓN ENTRE ÍNDICES DE VEGETACIÓN.....	75
6.2.3.	ESTADÍSTICAS GENERALES DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN	76
6.3.	MAPAS DE VIGOR	77
6.3.1.	MAPAS DE VIGOR POR HILERAS (RECLASIFICADO SEGÚN VIGOR)	77
6.3.2.	MAPAS DE VIGOR CONTINUO (RECLASIFICADO SEGÚN VIGOR).....	81
6.4.	ANÁLISIS DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN (IV): SENTINEL 2A	85
6.4.1.	ESTADÍSTICAS GENERALES DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN (IV)	85
6.4.2.	TENDENCIA DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN (IV).....	87
6.5.	MAPAS DE VIGOR: SENTINEL-2	89
6.5.1.	MAPAS DE VIGOR CONTINUO (RECLASIFICADO SEGÚN VIGOR).....	90
6.6.	COMPARATIVA DE RESULTADOS: PARROT SEQUOIA VS SENTINEL 2	92
6.6.1.	MATRIZ DE CONFUSIÓN	92
7.	CONCLUSIÓN	101
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
	ANEXOS	106
	ANEXO 1: TUTORIAL AGISOFT PHOTOSCAN.....	106
	ANEXO 2: MDS Y ORTOFOTOS.....	106
	ANEXO 3: MAPAS DE VIGOR POR HILERAS (PARROT SEQUOIA)	106
	ANEXO 4: MÉTODO DE INTERPOLACIÓN KRIGING CON EL SOFTWARE ESTADÍSTICO R.....	106
	ANEXO 5: MAPAS DE VIGOR CONTINUO (PARROT SEQUOIA)	106
	ANEXO 6: MAPAS DE VIGOR CONTINUO (SENTINEL-2).....	106

Listado de Figuras:

Ilustración 1. Se muestra los logos de los dos entes involucrados en el proyecto.	11
Ilustración 2. Se muestra el proceso a realizar dentro del ámbito de la viticultura de precisión para la zonificación y posterior vendimia selectiva.	14
Ilustración 3. Se muestra el rango del espectro electromagnético referido en frecuencia y longitud de onda.	15
Ilustración 4. Se muestran la signatura espectral de la vegetación en función de la longitud de onda.	16
Ilustración 5. Se muestra la evapotranspiración realizada por las plantas y su emisividad durante la noche.	17
Ilustración 6. Se muestra el conjunto de instrumentos que forman la estación de control: emisor/receptor de señal, mandos de control y el gestor de datos.	18
Ilustración 7. Se muestran diferentes tipos de RPA del tipo ala fija.	20
Ilustración 8. Se muestran diferentes tipos de RPA del tipo ala rotatoria.	20
Ilustración 9. Se muestran los diferentes usos o aplicaciones que se pueden realizar mediante RPA.	21
Ilustración 10. Se muestra la ubicación de la región del Red Edge.	29
Ilustración 11. Se muestra la ubicación de la zona de estudio sobresaltado en el recuadro amarillo en la ilustración de la izquierda, mientras que en la de la derecha se muestra la extensión con un zoom más cercano, donde los recuadros rojos representan las zonas urbanas próximas y el recuadro azul la región donde se ubica el área de estudio.	34
Ilustración 12. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio (1163, 1164, 1165, 1166, 1167 y 1189).	34
Ilustración 13. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio (1163, 1164, 1165, 1166, 1167 y 1189) de acuerdo al SIGPAC por medio de Google Earth. Fuente: Elaboración propia.	35
Ilustración 14. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio según el renombramiento aplicado. Fuente: Elaboración propia.	35
Ilustración 15. Se muestran las capas a descargar de la zona de estudio tales como la ortofoto y el Modelo Digital de Elevaciones (MDE).	36
Ilustración 16. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio con la capa del MDE. La ilustración de la izquierda se muestra en una perspectiva tridimensional, mientras que la de la derecha la perspectiva es bidimensional. Fuente: Elaboración propia.	37
Ilustración 17. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio con la capa del MDE. La ilustración de la izquierda se muestra en una perspectiva tridimensional, mientras que la de la derecha la perspectiva es bidimensional. Fuente: Elaboración propia.	37
Ilustración 18. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio con la capa de curvas de nivel a 1m de intervalo. La ilustración de la izquierda se muestra en una perspectiva tridimensional, mientras que la de la derecha la perspectiva es bidimensional. Fuente: Elaboración propia.	38
Ilustración 19. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio con la capa de la pendiente en grados. La ilustración de la izquierda se muestra en una perspectiva tridimensional, mientras que la de la derecha la perspectiva es bidimensional. Fuente: Elaboración propia.	38
Ilustración 20. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio con la capa del SIGPAC. La ilustración de la izquierda se muestra en una perspectiva tridimensional, mientras que la de la derecha la perspectiva es bidimensional. Fuente: Elaboración propia. ...	39
Ilustración 21. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio con la capa de la litología. La ilustración de la izquierda se muestra en una perspectiva tridimensional, mientras que la de la derecha la perspectiva es bidimensional. Fuente: Elaboración propia. ...	39

Ilustración 22. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio con la capa de la permeabilidad. La ilustración de la izquierda se muestra en una perspectiva tridimensional, mientras que la de la derecha la perspectiva es bidimensional. Fuente:

Elaboración propia 40

Ilustración 23. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio con la capa de riesgo de incendio forestal. Donde las parcelas a estudio presentan un riesgo medio. Fuente:

Elaboración propia. 40

Ilustración 24. Se muestra el sensor RGB integrado dentro del RPAS Phantom 4..... 41

Ilustración 25. Se muestra el sensor multiespectral Parrot Sequoia. 43

Ilustración 26. Se muestra el rango espectral para cada banda del sensor de Parrot Sequoia. 43

Ilustración 27. Se muestran la resolución espectral y espacial de las plataformas Sentinel 2A y Sentinel 2B..... 46

Ilustración 28. Se muestra los parámetros fotogramétricos básicos y la relación entre ellos.

(Victor 2017)..... 47

Ilustración 29. Se muestra la variación del GSD respecto a la altura de vuelo sobre el terreno.

(Victor 2017)..... 48

Ilustración 30. Se muestra la definición de los solapes longitudinales y transversales. (Centro de Geociencias 1981) 49

Ilustración 31. Se muestra las diferencias causadas en los solapes longitudinales y transversales y en el GSD a cuenta del relieve irregular (Victor 2017)..... 49

Ilustración 32. Se muestra en las posibles soluciones para solventar el problema del solape transversal en un relieve irregular. En la izquierda se muestra una modificación de alturas para cada pasada, mientras que en la derecha una reducción de la distancia entre pasadas (Victor 2017). 50

Ilustración 33. Se muestra la grilla de la zona de estudio con la altura, velocidad y solape que se observan en las imágenes. Fuente: Elaboración propia. 51

Ilustración 34. Se muestra la grilla de la zona de estudio con la altura, velocidad y solape que se observan en las imágenes. Fuente: Elaboración propia. 51

Ilustración 35. Se muestra la ventana de navegación de la Sequoia con los modos de captura anteriormente nombrados, en este caso se selecciona el método de intervalo de tiempo.

Fuente: Elaboración propia. 52

Ilustración 36. Se muestra la relación elevación solar, para los días especificados y a la latitud y longitud definidas. Fuente: Elaboración propia. 53

Ilustración 37. Se muestra la grilla de la zona de estudio con la altura, velocidad y solape que se observan en las imágenes. Fuente: Elaboración propia. 54

Ilustración 38. Se muestra la grilla de la zona de estudio con la altura, velocidad y solape que se observan en las imágenes. Fuente: Elaboración propia. 54

Ilustración 39. Se muestra el resultado de los parámetros de distorsión del sensor analizado junto a su representación gráfica. Fuente: Elaboración propia. 56

Ilustración 40. Se muestra el resultado del ortomosaico para cada banda del sensor Sequoia de Parrot para las parcelas A y B. Fuente: Elaboración propia. 58

Ilustración 41. Se muestra el resultado del ortomosaico para cada banda del sensor Sequoia de Parrot para las parcelas C y D. Fuente: Elaboración propia. 59

Ilustración 42. Se muestra el resultado del ortomosaico tras realizar la transformación de los valores NoData. Fuente: Elaboración propia. 60

Ilustración 43. Se muestra el resultado del ortomosaico tras realizar la transformación de los valores NoData. Fuente: Elaboración propia. 60

Ilustración 44. Se muestra la imagen Sentinel 2 tras el proceso de remuestreo. Fuente:

Elaboración propia. 62

Ilustración 45. Se muestra el resultado tras digitalizar las viñas de las cuatro parcelas de

estudio. Fuente: Elaboración propia. 64

Ilustración 46. Se muestra el resultado de la obtención de los hileras divididas en polígonos (1 x 2m). Fuente: Elaboración propia.	65
Ilustración 47. Se muestran los MDS y las ortofotos para la Parcela A, B, C y D. Fuente: Elaboración propia.	71
Ilustración 48. Se muestran las imágenes del IV RENDVI de la parcela A y para ambos vuelos. Fuente: Elaboración propia.	73
Ilustración 49. Se muestran las imágenes del IV RENDVI de la parcela B y para ambos vuelos. Fuente: Elaboración propia.	73
Ilustración 50. Se muestran las imágenes del IV RENDVI de la parcela C y para ambos vuelos. Fuente: Elaboración propia.	74
Ilustración 51. Se muestran las imágenes del IV RENDVI de la parcela D y para ambos vuelos. Fuente: Elaboración propia.	74
Ilustración 52. Se muestra el vigor en hileras reclasificado para la parcela A. Fuente: Elaboración propia.	78
Ilustración 53. Se muestra el vigor en hileras reclasificado para la parcela B. Fuente: Elaboración propia.	78
Ilustración 54. Se muestra el vigor en hileras reclasificado para la parcela C. Fuente: Elaboración propia.	79
Ilustración 55. Se muestra el vigor en hileras reclasificado para la parcela D. Fuente: Elaboración propia.	79
Ilustración 56. Se muestra el vigor en hileras reclasificado para la parcela A. Fuente: Elaboración propia.	82
Ilustración 57. Se muestra el vigor en hileras reclasificado para la parcela B. Fuente: Elaboración propia.	82
Ilustración 58. Se muestra el vigor en hileras reclasificado para la parcela C. Fuente: Elaboración propia.	83
Ilustración 59. Se muestra el vigor en hileras reclasificado para la parcela D. Fuente: Elaboración propia.	83
Ilustración 60. Se muestra la tendencia seguida la parcela A para los diferentes IV. Fuente: Elaboración propia.	87
Ilustración 61. Se muestra la tendencia seguida la parcela B para los diferentes IV Fuente: Elaboración propia.	88
Ilustración 62. Se muestra la tendencia seguida la parcela C para los diferentes IV. Fuente: Elaboración propia.	88
Ilustración 63. Se muestra la tendencia seguida la parcela D para los diferentes IV. Fuente: Elaboración propia.	89
Ilustración 64. Se muestra los mapas de vigor continuo para cada uno de los cuatro IV en la parcela A. Fuente: elaboración propia.	90
Ilustración 65. Se muestra los mapas de vigor continuo para cada uno de los cuatro IV en la parcela B. Fuente: Elaboración propia.	90
Ilustración 66. Se muestra los mapas de vigor continuo para cada uno de los cuatro IV en la parcela C. Fuente: Elaboración propia.	91
Ilustración 67. Se muestra los mapas de vigor continuo para cada uno de los cuatro IV en la parcela D. Fuente: Elaboración propia.	91

Listado de tablas:

Tabla 1. Se muestran diferentes definiciones de Drones.	17
Tabla 2. Se muestran las características técnicas de Landsat 8.	23
Tabla 3. Se muestran las características técnicas de Sentinel.	24
Tabla 4. Se muestran las coordenadas de la ubicación de las parcelas en diferentes sistemas.	34
Tabla 5. Se muestra la geometría (Área y Perímetro) para cada parcela de estudio.	36
Tabla 6. Se muestran las características técnicas específicas del sensor RGB del Phantom 4. ..	42
Tabla 7. Se muestran las características técnicas específicas del sensor multiespectral de Parrot Sequoia.	43
Tabla 8. Se muestran las características técnicas específicas del sensor Parrot Sequoia.	44
Tabla 9. Se muestran algunas características de las plataformas gratuitas Landsat 8 y Sentinel-2.	45
Tabla 10. Se muestran algunas características específicas de las plataformas Sentinel 2A y Sentinel 2B.	45
Tabla 11. Se muestran la resolución espectral y espacial de las plataformas Sentinel 2A y Sentinel 2B.	46
Tabla 12. Se muestra los diferentes vuelos realizados cada uno con su sensor y objetivo distintos.	55
Tabla 13. Se muestra las diferentes imágenes tratadas, para distintas fechas de para Sentinel	55
Tabla 14. Se muestra el muestreo de 20 píxeles de la cobertura de suelo desnudo para cada banda afectada.	59
Tabla 15. Se muestra las diferentes bandas de Sentinel-2, divididas en bandas anchas y bandas estrechas.	61
Tabla 16. Se muestran las diferentes matrices de correlación para cada parcela y vuelo.	75
Tabla 17. Se muestran las estadísticas básicas calculadas para cada una de las parcelas y por cada uno de los diferentes índices.	86
Tabla 18. Se muestran las estadísticas básicas calculadas para cada una de las parcelas y por cada uno de los diferentes índices.	86
Tabla 19. Se muestra los resultados de la matriz de confusión y parámetros de fiabilidad para la parcela A.	93
Tabla 20. Se muestra los resultados de la matriz de confusión y parámetros de fiabilidad para la parcela B.	94
Tabla 21. Se muestra los resultados de la matriz de confusión y parámetros de fiabilidad para la parcela C.	95
Tabla 22. Se muestra los resultados de la matriz de confusión y parámetros de fiabilidad para la parcela D.	96
Tabla 23. Se muestra los resultados de la matriz de confusión y parámetros de fiabilidad para la parcela A.	97
Tabla 24. Se muestra los resultados de la matriz de confusión y parámetros de fiabilidad para la parcela B.	98
Tabla 25. Se muestra los resultados de la matriz de confusión y parámetros de fiabilidad para la parcela C.	99
Tabla 26. Se muestra los resultados de la matriz de confusión y parámetros de fiabilidad para la parcela D.	100

RESUMEN Y ABSTRACT

RESUMEN

El trabajo de fin de máster tiene como objetivo principal el seguimiento o monitoreo de un cultivo vitivinícola de la zona de la Rioja-Alavesa a partir de imágenes adquiridas por sensores multiespectrales a bordo de UAV o RPA y de satélite (Sentinel-2). El seguimiento se efectuará a lo largo de las diferentes fases del estado fenológico del cultivo, a través de diversos índices de vegetación de verdor-vigor o contenido en clorofila, estableciendo el índice óptimo.

A modo de objetivo específico se pretende determinar que metodología de las dos empleadas (imágenes adquiridas mediante UAV o Sentinel-2) ofrecen una mejor solución a lo que la vendimia selectiva respecta del usuario o cliente. Es decir, concluir que metodología brinda resultados óptimos a lo largo del seguimiento del cultivo en sus diferentes etapas fenológicas, estableciendo así un menor coste y una óptima vendimia para el cliente, en este caso el agricultor.

- **Palabras clave:** RPAS, Sentinel-2, Agricultura de precisión, Viticultura, Índices de vegetación, NDVI, GNDVI, RENDVI, TVI.

ABSTRACT

The main objective of the master's work is the monitoring of a wine growing in the Rioja-Alavesa area (belonging to the Juan Campiñún Winery) from images acquired from UAV or RPA and by satellite (Sentinel 2A). The monitoring will be carried out along the different phases of the phenological state of the crop, through various vegetation indexes of greenery-vigor or chlorophyll content, establishing the optimal index.

A specific objective is to determine which methodology of the two employees (images acquired through UAV or Sentinel-2) offer a better solution to what selective harvesting of the user or customer. That is, to conclude that methodology provides optimum results during the follow-up of the crop in its different phenological stages, thus establishing a lower cost and an optimum harvest for the client, in this case the farmer.

Key words: RPAS, Sentinel-2, precisiong farming, Viticulture, Vegetation Index, NDVI, GNDVI, RENDVI, TVI.

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento representa el trabajo fin de máster (TFM) que se ha desarrollado en el marco del Máster Universitario en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección (MUSIGT) de la UPNA.

La ejecución del mismo se ha producido de manera conjunta entre la Universidad Pública de Navarra (UPNA) y la empresa de Geo-Información AirEstudio (en el Parque Tecnológico de Miñano, Álava) durante los meses comprendidos entre Mayo y Septiembre, ambos inclusive.



Ilustración 1. Se muestra los logos de los dos entes involucrados en el proyecto.

<http://www.airestudio.es/>

<https://www.unavarra.es/>

El estudio planteado combina varias técnicas y metodologías que se van analizar de una manera más detallada a lo largo de este documento. En ellas, grosso modo, tienen cabida los ámbitos o rubros de la Topografía, Geodesia, Fotogrametría y Teledetección.

1.1. ESTADO DEL ARTE

1.1.1. AGRICULTURA DE PRECISIÓN

El concepto de Agricultura de Precisión se gestó en el final del siglo XX, siendo la primera conferencia internacional sobre este tema en el año 1992. En contraste, la Viticultura de Precisión es relativamente nueva y su aparición ha estado condicionada, principalmente, a la disponibilidad comercial de monitores de rendimiento para viñas.

La agricultura de precisión tiene como origen el ámbito agronómico y como objetivo, el monitoreo pormenorizado y diferenciado de los cultivos, teniendo en cuenta las observaciones y medidas realizadas y la variabilidad y parámetros representativos de cada explotación agrícola.

La investigación, innovación y evolución de la tecnología en el ámbito agrícola hacia la sostenibilidad (sobre todo económica y ambiental) en el proceso de producción es un hecho que se encuentra en boga en la actualidad.

Respecto a las tecnologías mencionadas, éstas pueden ser de diversa índole, tales como Sistemas de Posicionamiento Global (GNSS), sensores (humedad, temperatura etc.), imágenes obtenidas de satélite o RPAS etc. y tienen como objetivo principal determinar la variabilidad existente en un cultivo.

Por otra parte, con la ayuda de sistemas de información geográfica (SIG o GIS), es posible representar, en forma de mapas, las variaciones espaciales relacionadas con la productividad y calidad del producto del cultivo.

En suma, la aplicación de estas nuevas tecnologías en el ámbito de la agricultura tiene como fin un mayor conocimiento y seguimiento del cultivo, para derivar de esas viñas los mejores caldos posibles.

Las etapas para la aplicación de las prácticas de Agricultura de Precisión son:

- 1- Recolección de información en terreno
- 2- Análisis y procesamiento de la información recolectada
- 3- Prescripción y recomendación
- 4- Seguimiento y control

Una vez determinado el término de agricultura de precisión, las siguientes líneas se van a centrar en lo que a viticultura de precisión se refiere.

En España, en los últimos tiempos, se está experimentando una reconversión y reestructuración en el sector vitivinícola, incrementando su producción en términos de cantidad y calidad. Es el país del mundo con mayor superficie de viña para vinificación, 1.142.400 hectáreas, lo que representa un tercio el viñedo comunitario y un 15% de la superficie mundial (Mapya, 2003). Según esta misma fuente la superficie total de viña en España supone un 2,5% de la superficie total geográfica y el 6,5% de la total cultivada, siendo superada únicamente por los cereales y el olivo.

Sin embargo, el auge de la industria vitivinícola en España no es único en el mundo. Los llamados países del nuevo mundo del vino (Australia, Estados Unidos, Sudáfrica, Chile, Argentina etc.) también han sufrido cambios en el sector, incrementando su producción, calidad y orientándose netamente al mercado exterior.

En los últimos años, la aplicación de las tecnologías de la información geográfica en la agricultura está teniendo un crecimiento exponencial. En concreto, la viticultura es uno de los campos que más beneficios puede obtener de la aplicación de esta tecnología, ya que el conocimiento y manejo de la variabilidad intraparcelsaria puede dar lugar a la diferenciación de vinos dentro de una misma parcela a través de la vendimia selectiva (Pérez Quezada, 2006).

En este contexto la Viticultura de Precisión podría definirse como el uso de tecnologías de información para la toma de decisiones económica y ambientalmente adecuadas para la producción vitícola y tiende hacia el diseño y aplicación de manejos diferenciales o sitio-específicos, considerando la variabilidad existente en el viñedo.

La vendimia selectiva se refiere a la separación de la cosecha de acuerdo a diferencias observables en el vigor o desarrollo vegetativo de la planta, el rendimiento, propiedades de los suelos y/o parámetros de calidad de la uva. Para ello, la zonificación dentro de las parcelas en las que se observe una variabilidad significativa del cultivo debe basarse en información espacial de detalle (Bramley et al. 2003; Proffitt y Malcom, 2005; Pérez Quezada, 2006; Arnó et al. 2009).

La determinación de la calidad o cantidad viene precedida por la obtención a modo de resultado de los mapas de rendimiento del cultivo, en este caso del cultivo de la vid.

La utilidad de estos mapas por sí solos ya es considerable pues ayudan al agricultor a encontrar las causas de las diferencias y a tenerlas en cuenta.

Para muchos agricultores, la principal característica de la producción es la cantidad, sin embargo, para los viticultores, la producción entendida como cantidad no es tan beneficiosa como en otros cultivos, adquiriendo un cariz determinante la calidad del mismo.

Por todo ello, parece que entre los viticultores ha calado hondo la vendimia selectiva, ya que es la que permite obtener vinos de mayor calidad (Bramley et al., 2003).

El desarrollo vegetativo o vigor de la viña también ha sido reconocido como un factor relacionado con la calidad de la uva (Hall et al., 2003, Cortell et al., 2005). Este puede medirse mediante el índice de área foliar, el diámetro del tronco, el peso de poda, el contenido de clorofila o la actividad fotosintética entre otros. Otra forma de estimación es por medio de información multiespectral mediante el cálculo de los índices de vegetación (Rouse et al., 1973, Lamb et al., 2004).

En este caso, las imágenes de teledetección, en particular las de alta resolución espacial, ofrecen la estimación de la variabilidad espacial del vigor del cultivo, y han mostrado su utilidad en la estimación de la estructura foliar de la planta y en el contenido de fenoles y color de la uva (Lamb et al., 2004).

En esta línea, el presente trabajo muestra el protocolo desarrollado en un viñedo comercial para llevar a cabo la vendimia selectiva en parcelas con alto coeficiente de variación del rendimiento del cultivo, utilizando imágenes multiespectrales de alta resolución espacial.

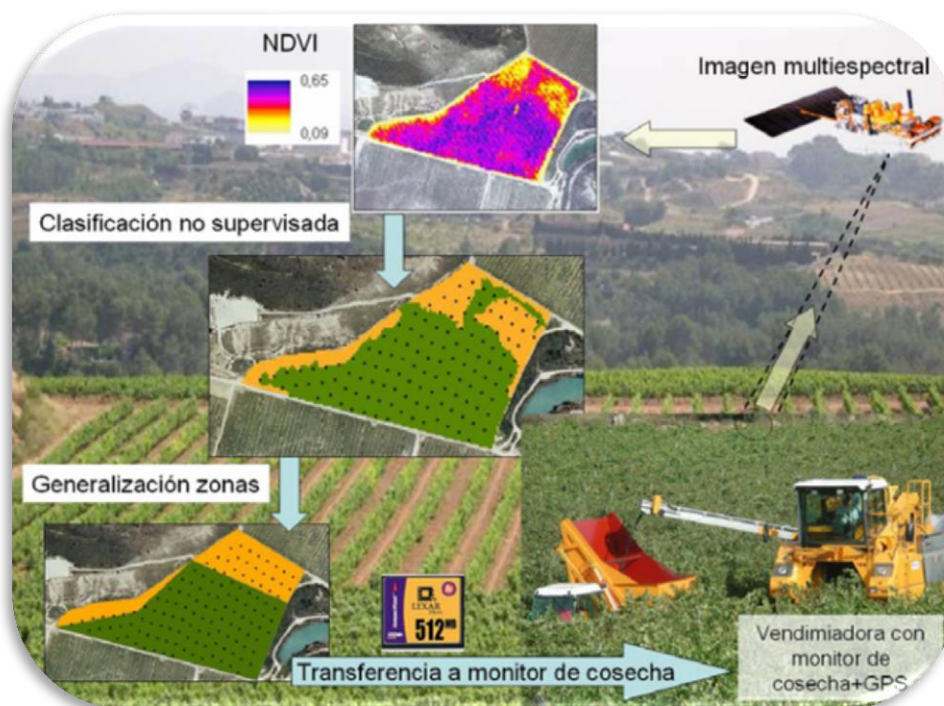


Ilustración 2. Se muestra el proceso a realizar dentro del ámbito de la viticultura de precisión para la zonificación y posterior vendimia selectiva.

<http://www.aet.org.es/congresos/xiii/cal12.pdf>

http://www.aet.org.es/revistas/revista33/Numero33_5.pdf

1.1.2. UTILIDAD E INTERÉS DE LAS IMÁGENES MULTIESPECTRALES Y TÉRMICAS EN VITICULTURA DE PRECISIÓN

El comportamiento espectral o signatura espectral de la cubierta de la vegetación varía en función de la región del espectro electromagnético en la que se encuentre.

Las bandas espectrales o rangos del espectro electromagnético más comunes en la teledetección son las siguientes, siendo las del espectro visible, infrarrojo cercano y térmico las bandas más empleadas en agricultura de precisión.

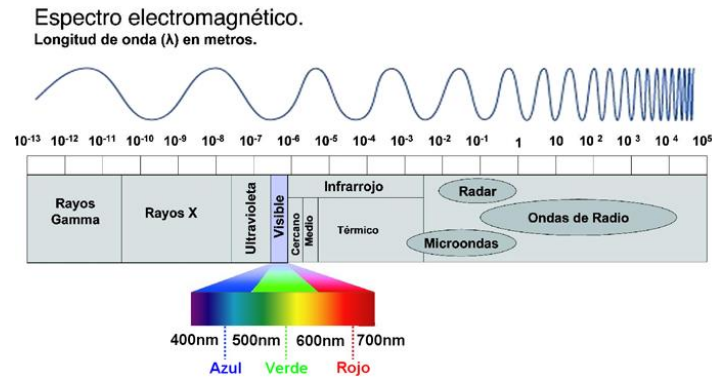


Ilustración 3. Se muestra el rango del espectro electromagnético referido en frecuencia y longitud de onda.

<https://alexsevillafoto.wordpress.com/2013/08/09/5-la-luz-conceptos-basicos/>

- Espectro Visible (0.4 a 0.7 μ m): El nombre de espectro visible, viene dado puesto que es la única radiación electromagnética que se percibe mediante el ojo humano. El espectro visible está compuesto por tres bandas, la banda azul (0.4-0.5 μ m), la banda verde (0.5-0.6 μ m) y la banda roja (0.6-0.7 μ m).
- Infrarrojo cercano o NIR (0.7 a 1.3 μ m): Este rango espectral es de vital importancia ya que tiene la capacidad de diferenciar masas vegetales y zonas de humedad.
- Infrarrojo mediano o MIR (1.3 a 8.0 μ m): Es el rango espectral donde se entremezclan la reflexión de la luz solar y la emisión de la superficie terrestre. Por medio de este rango, se puede detectar incendios o volcanes activos.
 - Infrarrojo de onda corta o SWIR (1.3 a 2.5 μ m): Suele emplearse para estimar concentraciones de humedad.
- Infrarrojo Lejano, LWIR o térmico TIR (8.0 a 14.0 μ m): Es el rango espectral que percibe la emisión del espectro terrestre.
- Microondas (a partir de 1mm): Este rango espectral es de vital importancia ya que es un tipo de energía transparente a la cubierta nubosa, es decir, la obtención de información es independiente de la condición climática.

Dentro del campo óptico, la signatura espectral de ésta cobertura (vegetación) sufre determinadas variaciones que se van a observar a continuación.

En el espectro visible o VIS el concepto a observar es el pigmento de la hoja. Para ello, se observa la concentración de clorofila, que tiene un pico en la banda verde, mientras que sufre una depresión debido a la absorción en la banda roja.

Entrando en el espectro del infrarrojo cercano o NIR, las características geométricas o morfología de la cubierta vegetal establecen el concepto de estudio. En este rango del espectro, la reflectividad aumenta considerablemente en comparación con el espectro visible. Este aumento viene precedido por la esponjosidad de la hoja debido al aire que se encuentra en ella, es decir, debido a las características de la estructura de la hoja.

Teniendo en cuenta estos dos rangos del espectro electromagnético analizados se observa una contraposición en lo que a reflectancia se refiere. Es por ello que en una vegetación con un estado óptimo, la diferencia entre el espectro visible y el infrarrojo cercano será mayor que una vegetación que no se encuentre sana. Este hecho se debe al aumento de la reflectividad en el espectro visible y a una reflectividad inferior en el infrarrojo cercano o NIR de una vegetación con algún tipo de estrés.

Por último se encuentra la localización geográfica de la vegetación o planta en cuestión, que tiene su repercusión en el espectro del infrarrojo mediano o MIR (en esta ocasión en el SWIR) y tiene como elemento significativo determinar el contenido de agua en la hoja. En este rango del espectro se observa una considerable disminución de la reflectividad debido a la absorción del agua.

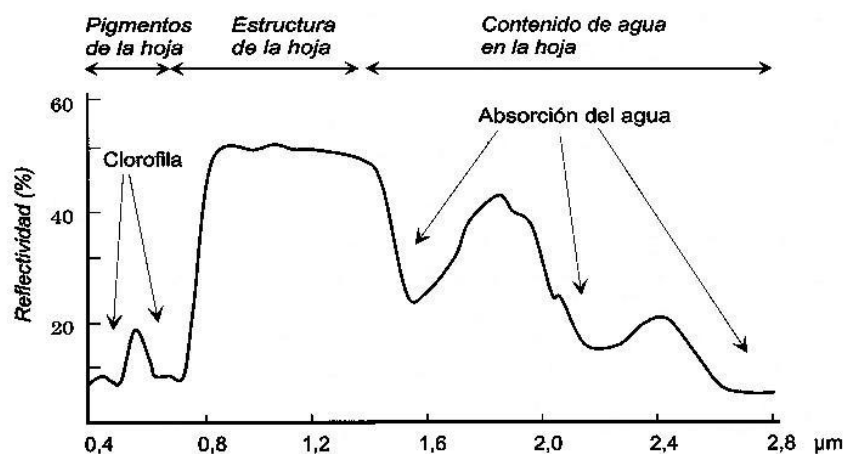


Ilustración 4. Se muestran la signatura espectral de la vegetación en función de la longitud de onda.

https://www.wikiagro.com/es/Qu%C3%A9_es_un_mapa_de_productividad%3F

En lo que al campo térmico se refiere, la cobertura vegetal absorbe gran cantidad de energía solar durante el día, mientras que por la noche esta energía absorbida es re-emitida manteniendo así el balance energético.

La inercia térmica, es decir, la resistencia de un objeto o superficie a cambiar de temperatura es alta. Esta situación establece que la temperatura de una cubierta vegetal sea menor durante el día que por la noche.

Esta situación se debe a la alta cantidad de humedad que tiene la vegetación. La evapotranspiración permite regular esta situación o ciclo hídrico. Mediante este proceso se libera la humedad por el día en forma de agua en estado gaseoso.

Los factores que entran en juego en la evapotranspiración son la fisiología de la vegetación, la humedad de la atmósfera y el suelo y la temperatura del aire entre otras.

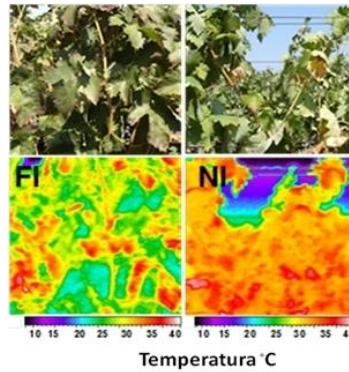


Ilustración 5. Se muestra la evapotranspiración realizada por las plantas y su emisividad durante la noche.

<http://www.innovaagri.es/gestion-del-agua/termografia-infrarrojos-agricultura.html>

Una vez analizadas las características de las imágenes multiespectrales y térmicas, cobra vital importancia recalcar que la captura de estas imágenes se pueden realizar acoplando sensores multiespectrales o térmicas a RPAS, aviones o plataformas satelitales.

A continuación se ha aportado información acerca de las tres técnicas mencionadas de acoplamiento y obtención de dichas imágenes.

1.1.3. RPAS

De acuerdo a diferentes estudios sobre el impacto económico mundial que generan los RPAS, el mercado que mayor progresión presenta es el de la agricultura de precisión (AUVSI, 2013).

Las aeronaves no tripuladas conocidas de manera generalizada como drones tienen varias acepciones, tales como UAV, UAS, RPA, RPAS entre otras muchas. Cabe destacar que aunque a priori pueda parecer que todos los términos tienen el mismo significado, la realidad es que hay algunas diferencias que se van matizar brevemente a continuación:

ACRÓNIMO	TÉRMINO	DEFINICIÓN
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	Vehículo aéreo no tripulado.
UAS	Unmanned Aerial System	Sistema aéreo no tripulado.
RPA	Remotely Piloted Aircraft	Aeronaves controlados de forma remota
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System	Sistema aéreo tripulado de forma remota

Tabla 1. Se muestran diferentes definiciones de Drones. Fuente: Elaboración propia.

A grandes rasgos se puede decir que todos los RPA son UAV, ya que son vehículos aéreos no tripulados, pero no todos los UAV son RPA, ya que para ello deben estar controlados por una persona. Por lo tanto, una vez vistas las diferencias de acuerdo a la denominación y significado, en el presente trabajo se va a emplear el término RPAS.

Dentro de la gran variedad de RPAS que actualmente inundan el mercado, los instrumentos necesarios para la comunicación e intercambio de datos entre la aeronave y el piloto vienen dados por la estación de tierra o estación de control. Este sistema tiene en común tres elementos fundamentales: Elemento de emisor/Receptor de señal de señal, mandos de vuelo y la parte de visualización y gestión de datos.



Ilustración 6. Se muestra el conjunto de instrumentos que forman la estación de control: emisor/receptor de señal, mandos de control y el gestor de datos.

<http://www.otonomteknoloji.com/upload/Node/17586/xpics/p19i0dkfeh1mhq1tkm9fbq31am92.png>

<http://static10.gestionaweb.cat/644/pwimg-1024/futaba-t8fq.jpg>

Por otra parte, cabe reseñar la existencia de dos tipos de RPA, de ala fija o de ala rotatoria. Las diferencias y similitudes entre ambos así como la información necesaria a tener en cuenta respecto a la legislación vigente se van a profundizar de forma breve en los párrafos sucesivos.

1.1.3.1. Marco legal: Legislación vigente

La legislación o reglamentación de los RPAS dado que se contemplan como aeronaves, se rige de acuerdo a legislación aeronáutica. Este hecho limita el uso de este tipo de aeronaves.

De acuerdo a la normativa europea, ésta se centra en RPAS de más de 150 kg de masa máxima al despegue, dejando en manos de las autoridades aeronáuticas de los distintos Estados miembro la reglamentación de los RPAS de peso inferior.

En España, se está desarrollando el marco normativo al respecto, y provisionalmente se ha publicado el [Real Decreto-Ley 8/2014](#), de 4 de Julio, que en su Artículo 50 regula la actividad con RPAS civiles de hasta 150kg hasta que la norma definitiva entre en vigor.

Este Real Decreto-Ley fue posteriormente tramitado como ley: la [Ley 18/2014, de 15 de octubre](#). Esta Ley tiene también carácter provisional, hasta que la normativa reguladora definitiva entre en vigor (Raquel Vergara Merino et al., 2016).

De acuerdo a la normativa mencionada, actualmente, las operaciones para trabajos técnicos o de carácter científico, están sujetas a ciertas limitaciones o restricciones. Cabe destacar que más allá de las aquí analizadas, existen otras muchas que para tener conocimiento de ellas, no queda más que recurrir a la Ley especificada anteriormente.

- ❖ Las aeronaves no deben exceder de 25kg como masa máxima en el momento del despegue.
- ❖ Solo se puede volar de día y en condiciones VMC (Condiciones Meteorológicas Visuales) favorables.
- ❖ No se puede operar en zonas de aglomeraciones de edificios, ciudades, pueblos, lugares habitados o de reuniones de personas al aire libre.
- ❖ El vuelo se puede realizar a una altura máxima sobre el terreno de 120m (400 pies).
- ❖ Solo pueden volar dentro del alcance visual del piloto (modalidad VLOS).
- ❖ La distancia entre el piloto y la aeronave debe ser siempre inferior a 500m.

Adicionalmente, las aeronaves con una masa inferior a 2kg tienen permitido realizar el vuelo más allá del alcance visual del piloto (modalidad BVLOS), siempre que se cumplan los siguientes requisitos:

- ❖ Deben mantenerse dentro del alcance de la emisión por radio de la estación de control.
- ❖ Las aeronaves deben tener integrado en su equipo tecnología que permita determinar la posición (GPS).
- ❖ La realización de este tipo de vuelos, está condicionado bajo previa emisión de un NOTAM a AESA.

Por otra parte y no de menos importancia, cabe reseñar los vuelos que pueden tener interferencia debido a su proximidad con infraestructuras aeroportuarias.

El vuelo en estos casos debe realizarse a una distancia mínima de 8 km de cualquier aeropuerto o aeródromo. En el caso de que el vuelo se efectúe con aeronaves con una masa inferior a 2 kg, en modalidad BVLOS y el aeródromo o aeropuerto cuenta con procedimientos de vuelo instrumental (IFR) la distancia mínima aumenta hasta los 15 km (Raquel Vergara Merino et al., 2016).

1.1.3.2. Ala-Fija

Los RPAS de ala fija, basan su sustentación en el principio de ala fija. Pueden poseer algún sistema de propulsión tales como hélices o turbinas.

Es decir, se caracterizan por poseer una estructura simple, con una eficiencia aerodinámica alta que permite a la aeronave tiempos de vuelo más largos a una velocidad constante, siendo capaces de cubrir grandes extensiones de terreno.

Como desventaja, cabe mencionar su incapacidad de vuelo estacionario. Es decir, no posee la capacidad de mantenerse en el aire, teniendo limitado su desplazamiento en un solo sentido. Por otra parte, tanto el manejo como el despegue y aterrizaje de este tipo de RPAS es de mayor complejidad respecto al tipo rotatorio.



Ilustración 7. Se muestran diferentes tipos de RPA del tipo ala fija.

<https://www.xatakafoto.com/videos-time-lapses-stop-motion/abee-un-avion-espia-que-sirve-para-generar-ortofotos>

<http://geodrone.es/>

1.1.3.3. Ala-Rotatoria

El multirrotor basa la sustentación en el principio de alas giratorias. La diferencia respecto a los de ala fija radica en que este tipo de RPA empleas más de dos rotores para generar la sustentación necesaria para volar y las palas de los mismos son de paso fijo (AESA, 2016).

Aporta una mayor estabilidad de vuelo y permite mantener un vuelo estacionario. Otro de los aspectos a destacar es que los RPA de ala rotatoria presentan un fácil manejo de vuelo (Raquel Vergara Merino et al., 2016).

La desventaja de este tipo de RPA respecto a los de ala fija, reside en tener una menor autonomía de vuelo y menor velocidad.



Ilustración 8. Se muestran diferentes tipos de RPA del tipo ala rotatoria.

www.dji.com/es

<http://es.avia.pro/blog/microdrones-md4-1000-tehnicheskije-harakteristiki-foto>

1.1.3.4. Aplicaciones

Las aplicaciones o usos que se puedan realizar con estas aeronaves son diversas y engloban diferentes rubros:

- **Inspecciones industriales o de construcción:**
 - Inspecciones termografías para la industria realizando chequeos y verificación de Paneles solares, Tendidos eléctrico, Torres de alta tensión, aerogeneradores...etc.
- **Seguimiento de vertidos:**
 - Inspecciones multiespectrales para la detección de hidrocarburos o derrames en alta mar o en zonas costeras.
- **Tareas audiovisuales:**
 - Obtención de imágenes y videos aéreos, seguimiento y control de obras, publicidad, eventos.
- **Medio ambiente:**
 - Uso de imágenes multiespectrales para la detección de incendios, estudios de hidrología y estudios medioambientales en su conjunto.
- **Agricultura de precisión:**
 - Empleo de sensores multiespectrales para realizar el estudio y vigilancia de cultivos: riego, plagas, enfermedades, vigor, actividad fotosintética etc.
- **Topografía y Fotogrametría:**
 - Obtención de ortofotos, Modelo Digital de Elevación (MDE), Modelo Digital de Superficie (MDS), cubicaciones, mediciones etc.

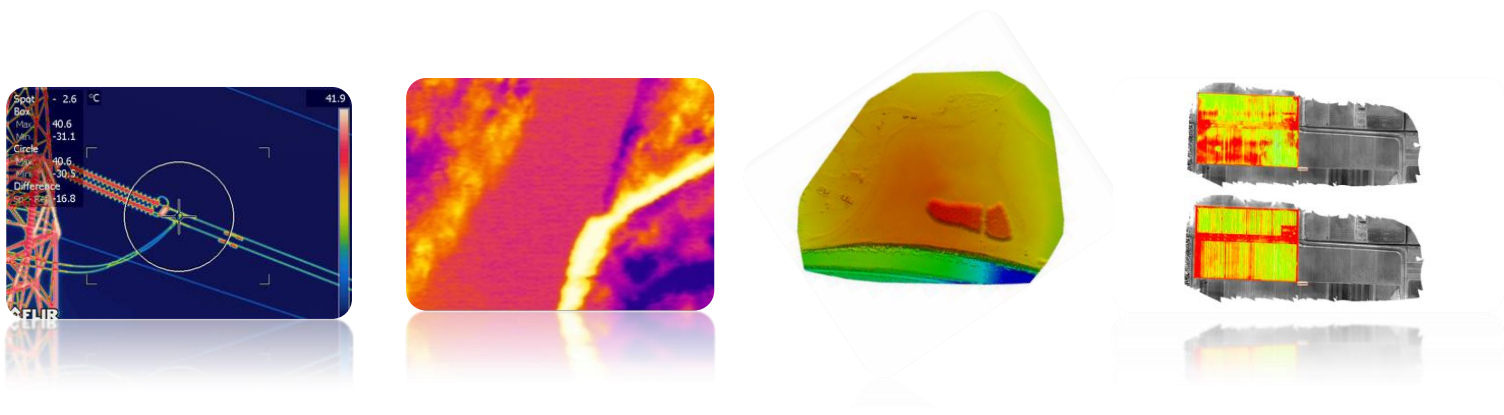


Ilustración 9. Se muestran los diferentes usos o aplicaciones que se pueden realizar mediante RPA.

<http://www.technidrone.es/servicios/>

<http://www.airestudio.es/Servicios>

1.1.4. FOTOGRAMETRÍA

Etimológicamente, la palabra fotogrametría se deriva de las palabras griegas photos, que significa luz, gramma, que significa lo que está dibujado o escrito, y metrón, que significa medir. Usando en conjunto esas palabras, fotogrametría significa medir gráficamente por medio de la luz.

El concepto de fotogrametría determina que es un conjunto de ciencia, arte y tecnología que engloba o combina las disciplinas de la óptica, la fotografía y las matemáticas, obteniendo como resultado información fiable o métrica acerca de objetos físicos y del entorno, a partir de medida e interpretación de imágenes fotográficas (Luis Jauregui, 2012).

Esta ciencia se basa en la relación geométrica que se verifica entre los puntos del objeto (3D), los puntos del objeto (2D) y el punto de vista o centro de proyección (objetivo de la cámara).

Según la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS en sus siglas en inglés), el término de fotogrametría hace referencia a la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, con el fin de obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición) del objeto de estudio.

Hoy día para el ámbito de la viticultura de precisión, la fotogrametría se lleva a cabo por medio de vuelos fotogramétricos con cámaras o sensores multiespectrales que captan información en el rango del visible e infrarrojo cercano, lo que permite derivar información sobre el vigor de las viñas.

Estos vuelos fotogramétricos se dan tanto desde RPAS como desde aviones o avionetas.

1.1.5. TELEDETECCIÓN ÓPTICA

La teledetección o detección remota (Remote Sensing, traducción latina del término en inglés) hace referencia a la técnica con la que se obtiene información de la superficie terrestre, bien sea un objeto, área o fenómeno a partir del análisis y posterior tratamiento de las imágenes obtenidas por medio de diversos equipos que se encuentran a distancia del objeto, área o fenómeno en cuestión (CHUVIECO, 1995).

Estos equipos, normalmente son sensores localizados en plataformas espaciales.

Actualmente hay diversas plataformas que se pueden clasificar en función del objetivo de la captura de imágenes. Teniendo esto en cuenta, grosso modo, se diferencian las plataformas de observación de recursos naturales, plataformas meteorológicas, plataformas de observación global y plataformas de alta resolución.

Cada una de las variantes expuestas contiene plataformas espaciales con características que difieren en cada caso. Por esta razón y centrando el objetivo con el que se ha desarrollado este proyecto, se ha optado por analizar brevemente algunas de las plataformas espaciales orientadas a la observación de recursos naturales.

❖ LANDSAT

De la mano de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) y del USGS, el Servicio Geológico de los Estados Unidos por sus siglas en inglés, se han puesto en órbita a lo largo de estos años hasta 8 satélites Landsat. El último de ellos ha tenido su lanzamiento el 11 de Febrero de 2013.

Las características técnicas que posee el Landsat 8, son superiores a toda la gama anterior de la misma familia. Este satélite lleva a bordo el instrumento Operational Land Imager (OLI), dicho instrumento es un sensor que capta el espectro visible (VIS), el infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR). La resolución espacial es de 15 m para el pancromático, mientras que para el espectral asciende a 30m.

Por otra parte consta de un segundo instrumento, el sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS) consta de dos bandas térmicas que son capaces de medir la temperatura tanto en la atmósfera como en la superficie.

De manera añadida, ofrece una banda de aerosoles y otra de cirrus, ambas empleadas para una óptima corrección atmosférica.

Ambos sensores escanean por líneas (Pushbroom) con un ancho de barrido de 180km, una resolución radiométrica de 12 bits y un periodo de revisita de 16 días. A lo que resolución espectral respecta, el Landsat 8 dispone de 11 bandas:

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) February 11, 2013	Bandas	longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
	Banda 1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
	Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
	Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
	Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
	Banda 5 - Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
	Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	*Banda 10 - Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	*Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

(USGS. 2013)

Tabla 2. Se muestran las características técnicas de Landsat 8.

<http://aeroterra.com/Productos/Esri/graphics/landsat/bandas.png>

❖ SENTINEL 2

Otro de los programas espaciales que tienen como objetivo el monitorio de la Tierra para la observación de recursos naturales es el programa Copernicus. Abanderado por la ESA, la Agencia Estatal Europea, consta actualmente de 3 satélites. El primero de ellos con nombre Sentinel-1 es una plataforma activa RADAR. El segundo satélite en cuestión, Sentinel-2 trata de una plataforma que opera en el campo óptico y finalmente, el Sentinel-3 que tiene como objetivo el monitoreo global.

Cabe destacar que tanto Sentinel-1 como Sentinel-2 cuentan con dos satélites homólogos por lo que su denominación pasa a ser la siguiente: Sentinel-1A, Sentinel 1B, Sentinel-2A y Sentinel-2B.

El primero de los Sentinel-2 tiene como fecha de lanzamiento el 23 de Junio de 2015, mientras que el segundo de ellos corresponde al 7 de Marzo de 2017.

El sensor a bordo de esta plataforma satelital se llama MSI (MultiSpectral Instrument). Este instrumento se compone de un campo visible, varias bandas en el rango del espectro electromagnético del infrarrojo cercano, y otras dos bandas en el infrarrojo mediano.

De manera añadida, al igual que el Landsat 8 consta de 3 bandas, de aerosol, vapor de agua y cirrus. El objetivo de estas bandas, no es otro que la realización de una corrección atmosférica más precisa.

Bandas	Resolución Espacial (m)	Resolución Espectral (nm)
Banda 1 (Aerosol)	60	443
Banda 2 (Azul)	10	490
Banda 3 (Verde)	10	560
Banda 4 (Rojo)	10	665
Banda 5 (Infrarrojo cercano - NIR)	20	705
Banda 6 (Infrarrojo cercano - NIR)	20	740
Banda 7 (Infrarrojo cercano - NIR)	20	783
Banda 8 (Infrarrojo cercano - NIR)	10	842
Banda 8a (Infrarrojo cercano - NIR)	20	865
Banda 9 (Vapor de Agua)	60	9945
Banda 10 (Cirrus)	60	1375
Banda 11 (Infrarrojo Lejano - SWIR)	20	1610
Banda 12 (Infrarrojo Lejano - SWIR)	20	2190

Tabla 6. Se muestran las características técnicas de Sentinel.

https://1.bp.blogspot.com/-7eYYQd9yKiU/VwqaqBldeqI/AAAAAAAAS-Y/A2KU_lbpGTAusS0YD2UOke_-UAQtRcD2Q/s640/Datos.png

Finalmente, queda reseñar que por medio de los sensores multiespectrales que se pueden acoplar en sistemas aéreos no tripulados (RPAS), aviones y en plataformas satelitales pueden derivarse ciertos índices de vegetación.

1.1.6. ÍNDICES DE VEGETACIÓN

Los índices espectrales son índices derivados de la combinación de valores de reflectancia de un pixel a diferentes longitudes de onda e indican abundancia relativa de un parámetro de interés.

Cabe destacar que a la hora de trabajar o realizar cálculos de los diferentes índices espectrales es necesario trabajar con valores de reflectancia en superficie. Para ello es de obligado cumplimiento efectuar la transformación inicial de Niveles Digitales (ND) a radiancia. Posteriormente, los valores de radiancia se transforman en valores de reflectividad en el techo de la atmósfera (TOA) y tras realizar la corrección atmosférica y topográfica pertinente se obtienen los valores finales de reflectancia en superficie.

Entrando de lleno con los índices de vegetación, a modo de definición se puede decir que es un parámetro calculado a partir de los valores de reflectividad de un pixel a distintas longitudes de onda, que pretende extraer de éstos la información relacionada con la vegetación, minimizando la influencia de la cubierta suelo y de las condiciones atmosféricas (María Gonzalez de Audicana, 2016).

A modo de objetivo de los índices de vegetación, cabe mencionar la posibilidad que ofrece de integración en una única imagen de valores altamente correlacionados con parámetros de verdor o vigor, LAI, productividad, concentración de clorofila, eficiencia fotosintética y contenido de agua entre otros (Agrarias, María, and González 2016).

Existe una gran variedad de índices de vegetación que tienen como objetivo aportar información relevante acerca de la vegetación. Gran parte de estos índices tienen su sustento en la interacción entre la vegetación y la energía electromagnética de las bandas del espectro rojo (RED) e infrarrojo cercano (NIR) en gran medida y en menor medida de la banda verde (GREEN) y azul (BLUE).

A continuación se va a efectuar un breve resumen de las características de los diferentes índices de vegetación existentes tanto de banda ancha como de banda estrecha.

Índices de vegetación de Banda Ancha

❖ Índices de vegetación: Verdor-Vigor-Lai

- ✓ *RVI (Ratio Vegetation Index)*: El índice RVI está directamente relacionado con el verdor o vigor de las cubiertas vegetales. La problemática que tiene se debe a una tendencia a la saturación cuando los valores de LAI son altos (Birth and McVey, 1968).

$$RVI = \frac{\rho \text{ NIR}}{\rho \text{ R}}$$

- ✓ *DVI (Difference Vegetation Index)*: El índice DVI tiene como objetivo la determinación de la presencia de vegetación, o en su defecto, de su ausencia. Al igual que el índice anterior, este índice tiene una problemática y es que los valores que ofrece como resultado se encuentran sin normalizar (Tucker, 1979).

$$DVI = \rho \text{ NIR} - \rho \text{ R}$$

- ✓ *NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*: El índice NDVI es el más conocido dentro de los diferentes índices de vegetación. Conceptualmente es un índice muy parecido al RVI (Ratio Vegetation Index), ya que tiene como fin determinar la diferencia existente entre las bandas rojo (RED) e infrarrojo cercano (NIR) (Rouse et al, 1974). El índice NDVI presenta ciertas limitaciones por verse muy influenciado por las características del suelo en el que se desarrolla la cubierta vegetal, especialmente cuando el grado de cobertura es bajo o medio. Este efecto tiene menor importancia cuando el grado de cobertura incrementa.

$$NDVI = \frac{\rho \text{ NIR} - \rho \text{ R}}{\rho \text{ NIR} + \rho \text{ R}}$$

- ✓ *PVI (Perpendicular Vegetation Index)*: El índice PVI incorpora en la propia definición del índice, las características del suelo en el que se desarrolla, para intentar minimizar su influencia en el valor del índice de vegetación (Richardson and Wiegand, 1977). El cálculo de este índice usa la distancia perpendicular de cada pixel hasta la línea del suelo, de modo que una mayor distancia indica un mayor vigor de la cubierta vegetal. La propia línea del suelo se obtiene con los datos de reflectividad en las bandas del rojo (RED) e infrarrojo cercano (NIR) teniendo en cuenta valores de píxeles que corresponden a suelo desnudo (Neill, Optar, 2009).

Este índice ofrece buenos resultados, pero presenta la desventaja de depender la precisión con la que se determina la línea de suelo que, en ocasiones, presenta una elevada dispersión.

$$PVI = \frac{|(\rho \text{ NIR} - (a \cdot \rho \text{ R}) - b)|}{\sqrt{a^2 + 1}}$$

- ✓ *SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)*: El índice de vegetación SAVI al igual que el índice PVI tiene como objetivo minimizar la influencia del suelo en el valor del índice de vegetación de la cubierta vegetal. En este caso se incorpora un factor de ajuste *L*, que varía de manera inversa con la cantidad de vegetación existente en el área de estudio (Huete, 1988).

El parámetro *L* toma diferentes valores en función de la densidad de la vegetación. Se recomienda utilizar valores de 0 cuando se calcula este índice en zonas con densidad de cubierta de vegetación alta, 0.5 en zonas con una cobertura vegetal media y próximo a 1 cuando la densidad de cubierta de vegetación es baja.

$$SAVI = \frac{(\rho \text{ NIR} - \rho \text{ R})}{(\rho \text{ NIR} + \rho \text{ R} + L)} * (1 + L)$$

- ✓ *TSAVI (Transformed Soil Adjusted Vegetation Index)*: El índice de vegetación del suelo ajustado y transformado se basa en el índice anterior mencionado SAVI, con la particularidad que tiene en cuenta un parámetro cuyo valor está determinado por el tipo de cultivo y tiene como objetivo minimizar aún más la influencia del suelo. Este nuevo parámetro se denomina *X* y los autores aconsejan que tome el valor de 0.08 (Baret and Guyot, 1991).

$$TSAVI = \frac{a * (\rho \text{ NIR} - a) * (\rho \text{ R} - b)}{\rho \text{ R} + a * \rho \text{ NIR} - a * b + X(1 + a^2)}$$

- ✓ *EVI (Enhanced Vegetation Index)*: El índice de vegetación EVI, tiene como base el índice de SAVI. Tal y como dice su nombre, es un índice de vegetación mejorado, ya que aparte de minimizar el efecto del suelo, elimina el efecto residual acaecido por aerosoles (dispersión atmosférica). Esta reducción del efecto se determina con la incorporación de la banda azul (BLUE) a la fórmula (Rocha et al., 2009). Para finalizar, cabe mencionar que los valores resultantes del índice de vegetación EVI están normalizados y se encuentran entre -1 y 1.

$$EVI = G * \frac{\rho \text{ NIR} - \rho \text{ R}}{(L + \rho \text{ NIR} - C1 * \rho \text{ R} - C2 * \rho \text{ B})}$$

❖ Índices de vegetación: Contenido en clorofila y actividad fotosintética

- ✓ *GVI (Green Vegetation Index)*: El índice de vegetación GVI es sensible a la concentración de clorofila en la hoja y a la actividad fotosintética de la cubierta. Conceptualmente es un índice que se asemeja al RVI, con la diferencia del uso de las bandas, sustituyendo la banda roja (RED) por la verde (GREEN). Es decir, es el cociente entre la reflectividad en el infrarrojo cercano (NIR) y la reflectividad en la banda del verde (GREEN).

A modo de problemática este índice carece de unos valores normalizados. Este índice suele tener su uso en zonas forestales.

$$GVI = \frac{\rho \text{ NIR}}{\rho \text{ G}}$$

- ✓ *GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index)*: El índice GNDVI es muy parecido conceptualmente al NDVI. Respecto al índice GVI, tiende a resolver la problemática de este, siendo un índice normalizado con valores comprendidos entre -1 y 1.

$$GNDVI = \frac{\rho \text{ NIR} - \rho \text{ G}}{\rho \text{ NIR} + \rho \text{ G}}$$

- ✓ *GARI (Green Atmospherically Resistant Index)*: El índice GARI tiene como homólogo al índice ARVI (empleado para el verdor o vigor). En este caso, con el objetivo de determinar el contenido en clorofila aplica un parámetro Υ , el cual determina el tipo de aerosoles y minimiza la dispersión atmosférica. Para ello, emplea la banda azul (BLUE).

$$GNDVI = \frac{\rho \text{ NIR} - [\rho \text{ G} - \Upsilon * (\rho \text{ B} - \rho \text{ R})]}{\rho \text{ NIR} + [\rho \text{ G} - \Upsilon * (\rho \text{ B} - \rho \text{ R})]}$$

❖ Índices de vegetación: Contenido de agua

- ✓ *NDII (Normalized Difference Infrared Index)*: El índice NDII o también denominado NDWI (Normalized Difference Water Index) o NDMI (Normalized Difference Moisture Index) es sensible al contenido de agua de la cubierta vegetal. Tiene como objetivo determinar el estrés hídrico, por lo que unos resultados con valores grandes tiene como significado una ausencia de estrés hídrico.

$$NDII = \frac{\rho \text{ NIR} - \rho \text{ SWIR}}{\rho \text{ NIR} + \rho \text{ SWIR}}$$

Índices de vegetación de Banda Estrecha

❖ Índices de vegetación: Verdor-Vigor-Lai

Se denomina así a aquellos índices de vegetación que se derivan de las imágenes multiespectrales o hiperspectrales que trabajan en intervalos de longitud de onda del orden de 10-20nm.

Son especialmente interesantes para el estudio y seguimiento de la vegetación las bandas de la región del red edge, aquella correspondiente a la zona de la curva de reflectancia de la vegetación con máxima pendiente, situada entre los 690 y 740 nm de longitud de onda. La irradiancia a estas longitudes de onda ejerce una mayor capacidad de penetración que en la banda roja (RED).

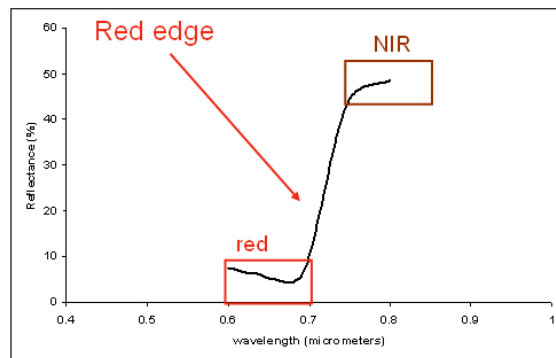


Ilustración 10. Se muestra la ubicación de la región del Red Edge.

<http://www.eumetrain.org/data/3/36/navmenu.php?page=3.2.3>

- ✓ **RENDVI (Red Edge Normalized Difference Vegetation Index):** El índice de RENDVI conceptualmente tiene mucha similitud con el NDVI de banda ancha. La diferencia radica en la reflectividad que emplea este índice que corresponden a ρ_{705} y ρ_{750} . Al igual que el índice NDVI los valores están normalizados entre -1 y 1, siendo los resultados con valores superiores a aproximadamente 0.2 los que corresponden a zonas con cobertura vegetal (Gitelson and Marzlyak, 1994).

$$RENDVI = \frac{\rho_{750} - \rho_{705}}{\rho_{750} + \rho_{705}}$$

- ✓ *MRENDVI (Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index)*: El índice MRENDVI es casi idéntico al anteriormente analizado, excepto, la aplicación de la reflectividad en la longitud de onda de la banda azul (BLUE) que tiene como principal objetivo minimizar los efectos de reflexión especular de las hojas (Datt, 1999).

$$MRENDVI = \frac{\rho_{750} - \rho_{705}}{\rho_{750} + \rho_{705} - 2 * \rho_{445}}$$

- ✓ *TVI (Triangular Vegetation Index)*: El índice TVI se basa en la determinación del área del hipotético triángulo formado entre el pico verde (GREEN) de reflectancia, la depresión en el rojo (RED) por máxima absorción clorofílica y máxima reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) (Broge and Leblanc, 2000).

$$TVI = 0.5 * [120 * (\rho_{750} - \rho_{550}) - 200 * (\rho_{670} - \rho_{550})]$$

Además, pueden considerarse índices de banda estrecha todos los pertenecientes a la familia del SAVI (RESAVI, RETSAVI, REMSAVI), cuyo cálculo se realizaría sustituyendo las bandas del canal rojo (RED) e infrarrojo cercano (NIR) por la reflectividad que corresponde a esas bandas ρ_{705} y ρ_{750} .

❖ Índices de vegetación: Contenido en clorofila y actividad fotosintética

- ✓ *MCARI (Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index)*: El índice de vegetación MCARI es sensible a la concentración de clorofila en la hoja y a la actividad fotosintética de la cubierta. Tiende a mostrar buenos resultados ya que minimiza el efecto del suelo y de las cubiertas fotosintéticas (Daughtry et al, 2000).

Este índice se basa en la determinación del área del hipotético triángulo formado entre el pico verde (GREEN) de reflectancia, la depresión en el rojo (RED) por máxima absorción clorofílica y en el inicio de la región del Red Edge.

$$MCARI = [(\rho_{700} - \rho_{670}) - 0.2 * (\rho_{700} - \rho_{550})] * \frac{\rho_{700}}{\rho_{670}}$$

- ✓ *TCARI (Transformed Chlorophyll Absorption Ratio Index)*: El índice TCARI al igual que el anterior analizado (MACARI) es sensible a la concentración de clorofila en la hoja y se basa en la determinación del área del hipotético triángulo formado entre el pico verde (GREEN) de reflectancia, la depresión en el rojo (RED) por máxima absorción clorofílica y en el inicio de la región del Red Edge.

La mayor diferencia respecto al índice MCARI es que los resultados presentan unos valores normalizados. A modo de problemática o desventaja, este índice muestra buenos resultados con altos valores de LAI, en caso contrario, tiende a ser muy sensible al suelo (Haboudane et al, 2004).

$$TCARI = 3 * [(\rho 700 - \rho 670) - 0.2 * (\rho 700 - \rho 550) * \frac{\rho 700}{\rho 670}]$$

❖ Índices de vegetación: Contenido de agua

- ✓ *MSI (Moisture Stress Index)*: El índice MSI es sensible al contenido de agua de la cubierta vegetal. Tiene como objetivo determinar el estrés hídrico, por lo que unos resultados con valores grandes tiene como significado un mayor estrés hídrico por parte de la cubierta vegetal.

$$MSI = \frac{\rho 1600}{\rho 819}$$

- ✓ *NDII (Normalized Difference Infrared Index)*: El índice NDII o también denominado NDWI (Normalized Difference Water Index) o NDMI (Normalized Difference Moisture Index) es sensible al contenido de agua de la cubierta vegetal. Tiene como objetivo determinar el estrés hídrico, por lo que unos resultados con valores grandes tiene como significado una ausencia de estrés hídrico. Los valores se encuentran normalizados (-1 y 1).

$$NDII = \frac{\rho 819 - \rho 1649}{\rho 819 + \rho 1649}$$

1.1.7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENTRE CAPTURA DE LAS IMÁGENES MULTIESPECTRALES: RPAS VS PLATAFORMAS SATELITALES

Hoy día la irrupción de los RPAS en el mundo comercial ha ocasionado una nueva visión de cara a afrontar determinados problemas en el ámbito de la teledetección. Diversos autores han manifestado sus posturas respecto al uso de imágenes procedentes de plataformas satelitales o en su defecto, vía RPAS. Englobando lo mencionado por cada uno de ellos, queda claro que la elección de uno u otro dependerá en gran medida en función del trabajo a realizar.

A continuación se nombra las conclusiones acerca de las ventajas y desventajas de las dos metodologías mencionadas a la hora de la captura de imágenes de dos personas respetables en el ámbito de la agricultura de precisión.

Por ejemplo, el primero de ellos, (Berni et al., 2009), considera que los RPAS cubren perfectamente ciertas problemáticas que tienen las plataformas satelitales tales como la monitorización continua o a tiempo real, resolución espacial y la considerable mejora para este tipo de estudios como es la capacidad de revisita o resolución temporal.

En relación con estas ventajas mencionadas, (Montesinos et al., 2006) se expresa de la misma manera y recalca la potencialidad de integrar diversos sensores dentro de las estructuras de los RPAS y la resolución espacial y temporal que estos aportan. Así mismo, hace hincapié en la importancia de poner a disposición de los agricultores esta tecnología con el fin de detectar la variabilidad espacio temporal de sus cultivos.

Por otra parte, este mismo autor pone de manifiesto las carencias que tienen los RPAS frente a las plataformas aéreas en general, incluyendo además de las satelitales a los aviones tripulados. El análisis que realiza engloba principalmente la problemática que tienen los RPAS para cubrir vastas superficies de terreno, que por medio de plataformas aéreas pueden abarcar en una sola captura proporciones superiores a 100 Km².

Otra de las desventajas de los sistemas RPAS en contraposición de las plataformas satelitales es la menor capacidad de resolución espectral que ofrecen en cuanto al número de bandas que cuentan algunas plataformas satelitales frente a los sensores que se integran en los sistemas RPAS.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El objetivo principal de esta Trabajo Final de Máster consiste en establecer qué metodología de las dos analizadas es aplicable a parcelas tanto de grandes dimensiones como de tamaño reducido, para identificar de manera fiable, mediante sensores aeroportados con Vehículos Aéreos No Tripulados (RPAS), la variabilidad de las parcelas estudiadas para su posterior vendimia selectiva.

La principal potencialidad del uso de los RPAS en la agricultura, es facilitar a los agricultores, o como en este caso Bodegas vitivinícolas, la capacidad de observar su cultivo desde el aire, obteniendo así una perspectiva que les permita detectar posibles incidencias o variabilidades en cada campaña, con una gran resolución.

Las plataformas satelitales por otra parte, parten de la desventaja de la resolución el que operan, siendo el resultado adquirido de un carácter más general. A pesar de ello, se pretende establecer si esta metodología cubre la necesidad que requieren los agricultores o las Bodegas vitivinícolas, evitando así un gasto en recursos humanos y económicos en cada desplazamiento.

Este objetivo específico se ha querido efectuar por medio de dos metodologías, es decir, mediante el acoplamiento de sensores multiespectrales en RPAS y por otra parte, con sensores a bordo de plataformas satelitales.

Dicho esto, otros objetivos indirectos del proyecto tienen como finalidad determinar lo siguiente:

- ❖ Aprendizaje en el anejo de planificadores de vuelo RPAS, del propio RPAS y de los sensores multiespectrales acoplados.
- ❖ Utilidad y manejo de los sistemas de información geográfica para tratar imágenes aéreas obtenidas desde RPAS.
- ❖ Pre y post procesamiento de imágenes multiespectrales acopladas en RPAS y plataformas satelitales.
- ❖ Determinar plataformas satelitales óptimas para la agricultura de precisión.

3. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio en la que se desarrolla este trabajo se ubica en el sector sur de la Comunidad Autónoma Vasca (CAV), entre los municipios de Laguardia y Lanciego para más señas. Esta zona geográfica tiene el sobrenombre de Rioja-Alavesa debido a su cercanía con la comunidad autónoma limítrofe.

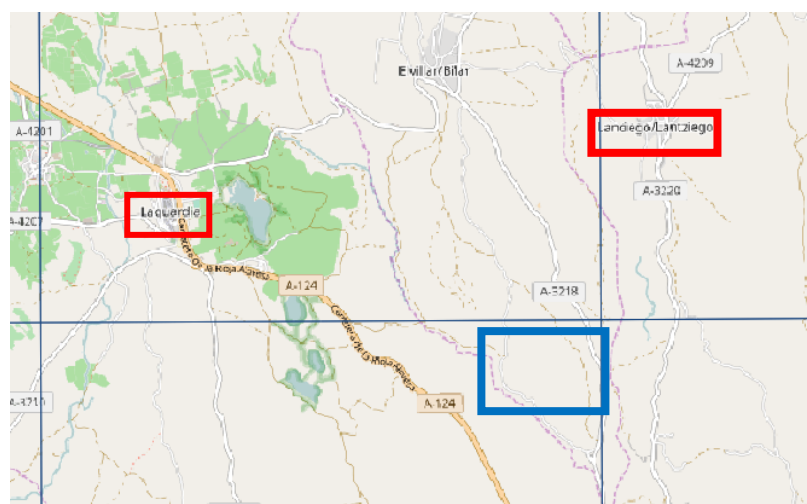
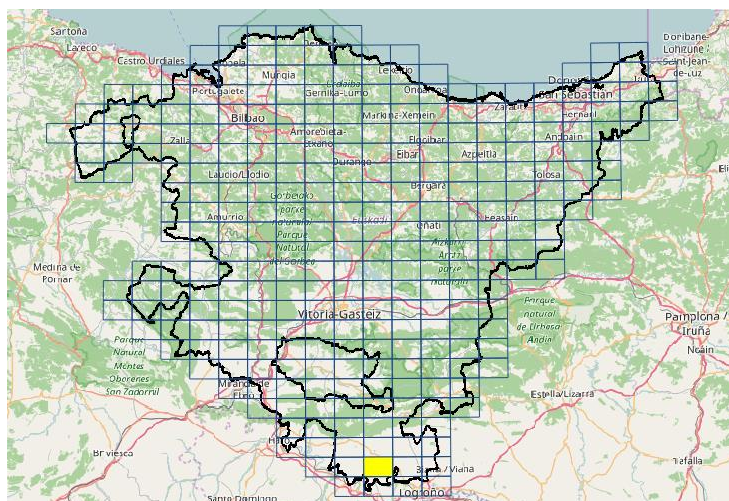


Ilustración 11. Se muestra la ubicación de la zona de estudio sobresaltado en el recuadro amarillo en la ilustración de la izquierda, mientras que en la de la derecha se muestra la extensión con un zoom más cercano, donde los recuadros rojos representan las zonas urbanas próximas y el recuadro azul la región donde se ubica el área de estudio.

El presente trabajo se ha centrado en un total de 6 parcelas de vid con una extensión entre las 3.5 - 4 ha y una ubicación geográfica que se muestra a continuación en forma de tabla.

COORDENADAS DE LAS PARCELAS 1163 - 1164 - 1165 - 1166 - 1167 - 1189					
ETRS89 UTM 30N		WGS 84		WGS 84 (DECIMALES)	
X	Y	Lat	Lon	Lat	Lon
539004.74	4708974.2	42° 31' 55.8012"	-2° 31' 30.183"	42.5321674	-2.5250511

Tabla 7. Se muestran las coordenadas de la ubicación de las parcelas en diferentes sistemas de referencia.

Cabe remarcar la discrepancia que muestran las parcelas a estudio entre el Catastro de la diputación foral de Álava y las observadas en campo. A continuación se detallan de manera gráfica las parcelas (1163, 1164, 1165, 1166, 1167 y 1189) de acuerdo al Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) obtenidas desde el Catastro de Álava.

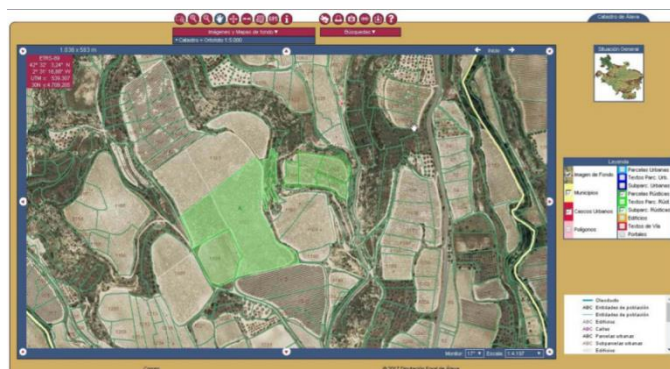


Ilustración 12. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio (1163, 1164, 1165, 1166, 1167 y 1189)

Para una mejor representación se han graficado las parcelas visualizándolas en 3D desde la plataforma Google Earth y en formato KML.

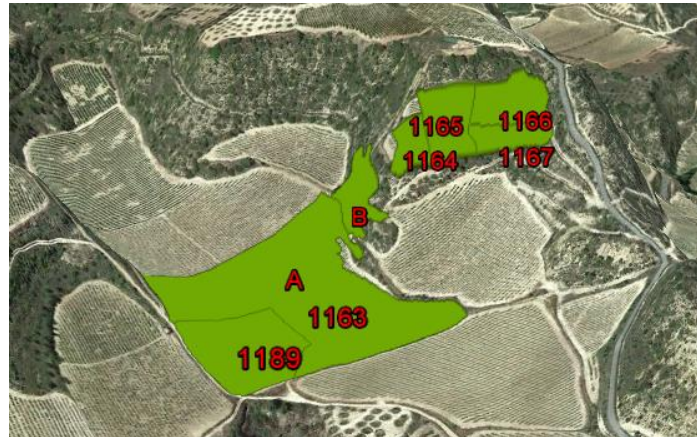


Ilustración 13. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio (1163, 1164, 1165, 1166, 1167 y 1189) de acuerdo al SIGPAC por medio de Google Earth. Fuente: Elaboración propia.

La diferencia o discrepancia entre las parcelas ofrecidas por el SIGPAC con las observadas en campo, aunque muestran una representación certera, difieren en cierta medida. Debido a este hecho, se ha optado por digitalizar las parcelas en cuestión con el objetivo de determinar el contorno real con el que se ha trabajado.

Por otra parte, la denominación de las mismas también se han visto afectadas, para adecuarse a la digitalización previamente realizada. En el conjunto del documento la nomenclatura a emplear ha sido la siguiente.

❖ **Zona 1**

- ✓ Parcela 1189 = Parcela **A**
- ✓ Parcela 1163 = Parcela **B**

❖ **Zona 2**

- ✓ Parcelas 1164, 1165, 1167 = Parcela **C**
- ✓ Parcelas 1165, 1166 = Parcela **D**

De acuerdo a la representación, al igual que en el caso anterior, se muestra por medio de la plataforma Google Earth en formato KML.



Ilustración 14. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio según el renombramiento aplicado. Fuente: Elaboración propia.

Otra de las características a tener en cuenta es la geometría de la zona de estudio. En la siguiente tabla se muestra el área para cada parcela y el perímetro correspondiente.

	GEOMETRÍA		
	ÁREA (M2)	ÁREA (HA)	PERÍMETRO (M)
PARCELA A	6490.270	0.649027	305.185
PARCELA B	24167.900	2.41679	798.860
PARCELA C	3797.253	0.3797253	342.740
PARCELA D	2942.060	0.294206	269.930
TOTAL		3.7397483	

Tabla 8. Se muestra la geometría (Área y Perímetro) para cada parcela de estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Una vez acotado el área de estudio, se ha procedido a analizar por medio del portal GeoEuskadi los diferentes parámetros o coberturas que interfieren dentro del mismo. A continuación se van a examinar de manera pormenorizada cada una de estas coberturas.

Antes de comenzar, cabe reseñar que a modo de información base se ha descargado una ortofoto y el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) (resolución de 1m de píxel) correspondientes a la zona de estudio procedentes del portal GeoEuskadi.

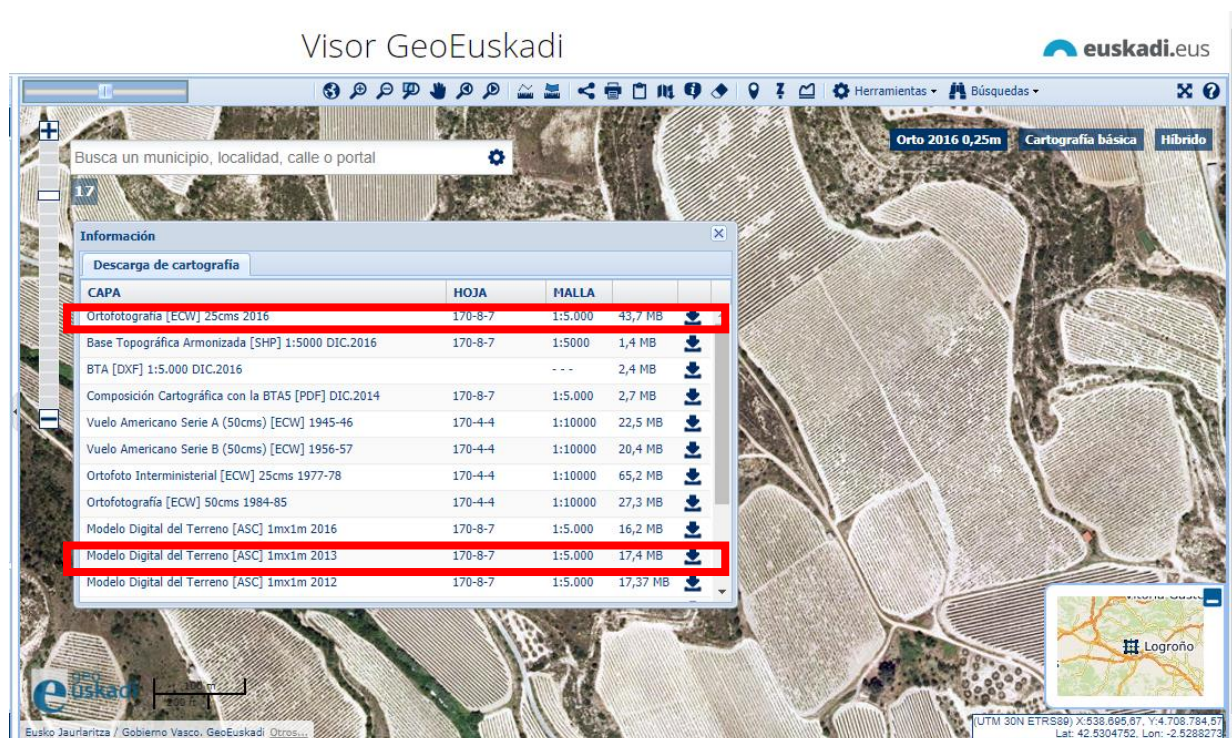


Ilustración 15. Se muestran las capas a descargar de la zona de estudio tales como la ortofoto y el Modelo Digital de Elevaciones (MDE).

<http://www.geo.euskadi.eus/s69-15375/es/>

Ambos archivos representan una extensión a lo que el área se refiere considerablemente más grande que el área de estudio correspondiente a las parcelas vitivinícolas. Por esta razón se ha procedido a recortar ambas coberturas ajustando ambas a la región de estudio.

En primer lugar se observa el MDE recortado ajustado a la región de estudio.

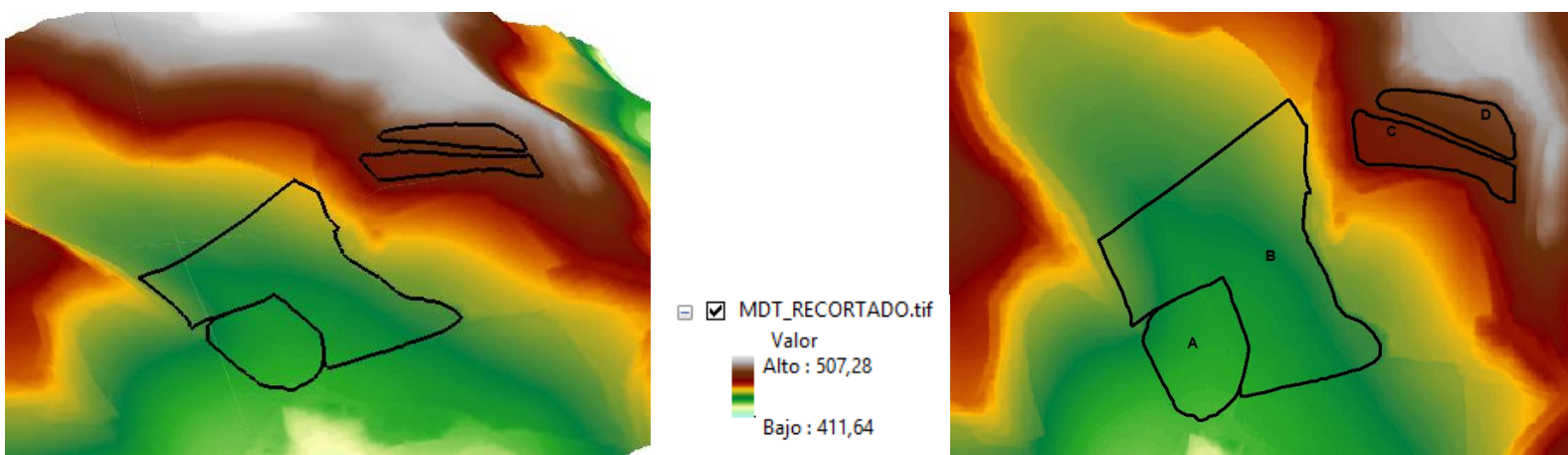


Ilustración 16. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio con la capa del MDE. La ilustración de la izquierda se muestra en una perspectiva tridimensional, mientras que la de la derecha la perspectiva es bidimensional. Fuente: Elaboración propia.

En segundo lugar se presenta la ortofoto, al igual que se ha realizado para el MDE se ha ajustado el área a la región de estudio.

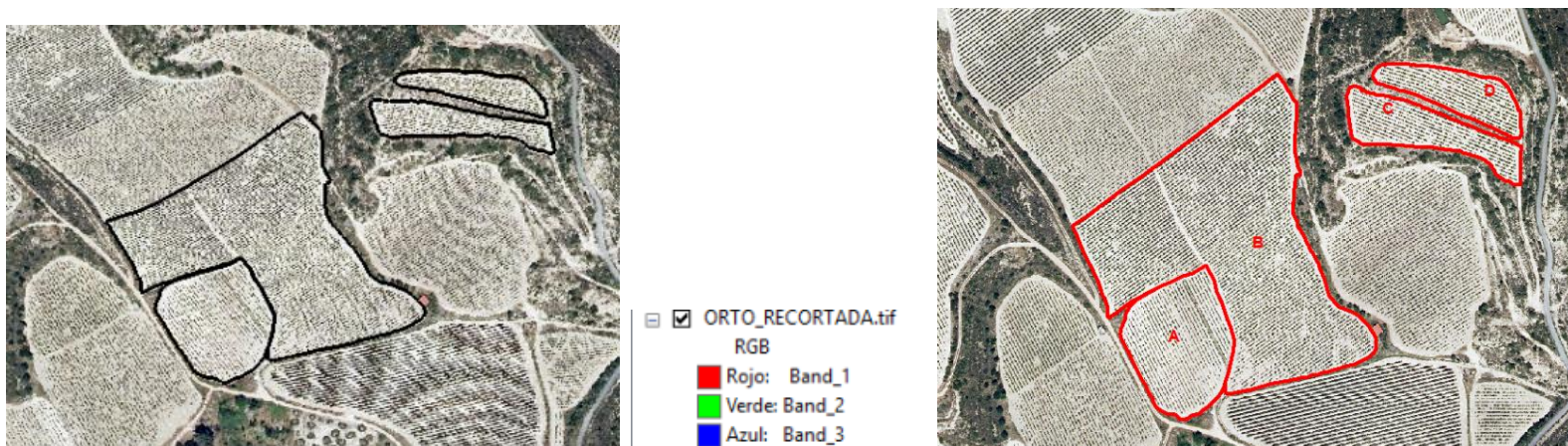


Ilustración 17. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio con la capa del MDE. La ilustración de la izquierda se muestra en una perspectiva tridimensional, mientras que la de la derecha la perspectiva es bidimensional. Fuente: Elaboración propia.

Por medio del MDE se han obtenido las curvas de nivel para la región de estudio. Observando el resultado, se han percibido grandes diferencias de cota entre las diferentes parcelas.

Así para la parcela A, se constatan desniveles entorno a los 5 metros con una distribución homogénea. De acuerdo a la parcela B, se observa un desnivel más pronunciado. Este se concentra en la parte noreste y noroeste de la parcela de estudio (B). Respecto a la parcela C, presenta un desnivel de alrededor de los 8 metros con una distribución homogénea a lo largo y ancho de la misma. Por último, lo que respecta a la parcela D, se percibe un bajo desnivel próximo a los 3 metros.

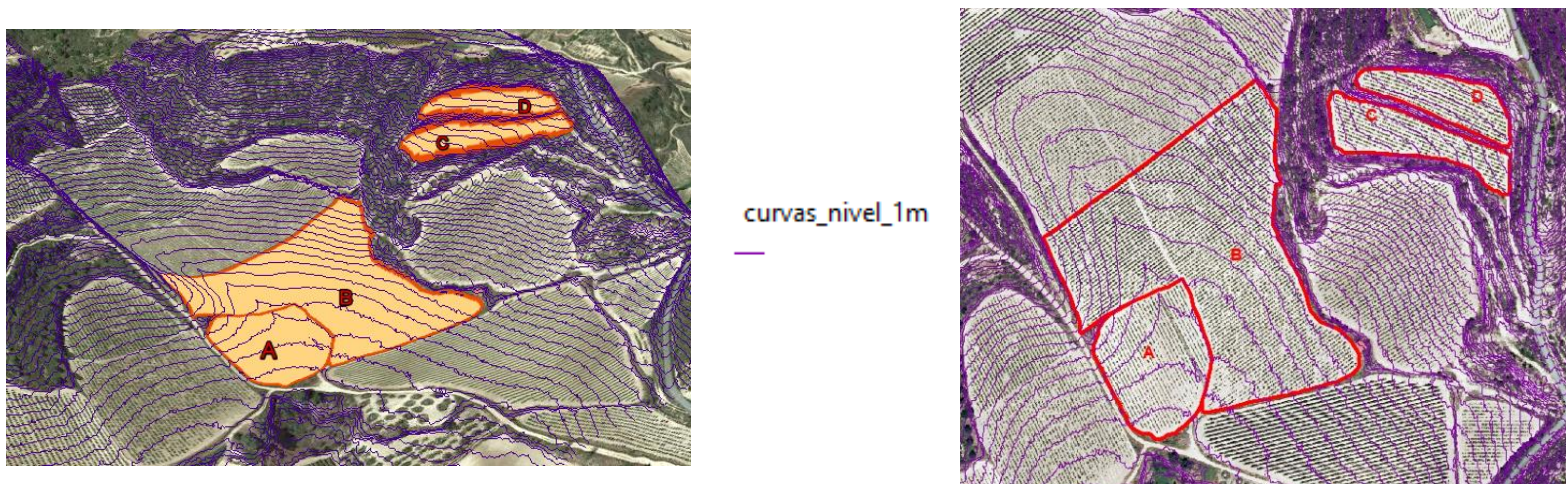


Ilustración 18. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio con la capa de curvas de nivel a 1m de intervalo. La ilustración de la izquierda se muestra en una perspectiva tridimensional, mientras que la de la derecha la perspectiva es bidimensional. Fuente: Elaboración propia

Otra manera de observar el desnivel es por medio de la pendiente. En este caso se ha optado por obtenerla en grados, siendo la pendiente mínima la de 0 grados y la máxima la de 90. A modo de conclusiones, se infieren las concluidas anteriormente con las curvas de nivel.

La cobertura de la pendiente se ha empleado posteriormente, con el fin de determinar una posible correlación entre el índice de vegetación y la propia pendiente de la zona de estudio. Es decir, establecer si existe o no una conexión entre el índice de vegetación y la pendiente dentro de la zona de estudio. Por ejemplo, a mayor pendiente, menor vigor.

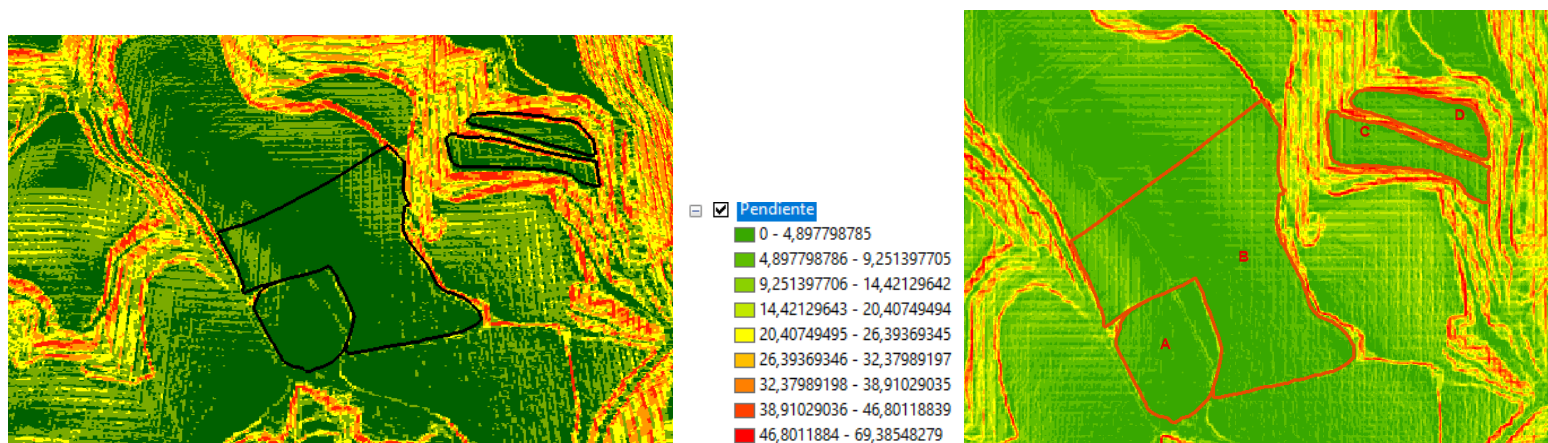


Ilustración 19. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio con la capa de la pendiente en grados. La ilustración de la izquierda se muestra en una perspectiva tridimensional, mientras que la de la derecha la perspectiva es bidimensional. Fuente: Elaboración propia.

En lo que a uso del suelo respecta, las parcelas a estudio tienen un cultivo vitivinícola. Esta afirmación puede comprobarse observando la información del SIGPAC, que aporta información de las parcelas colindantes.

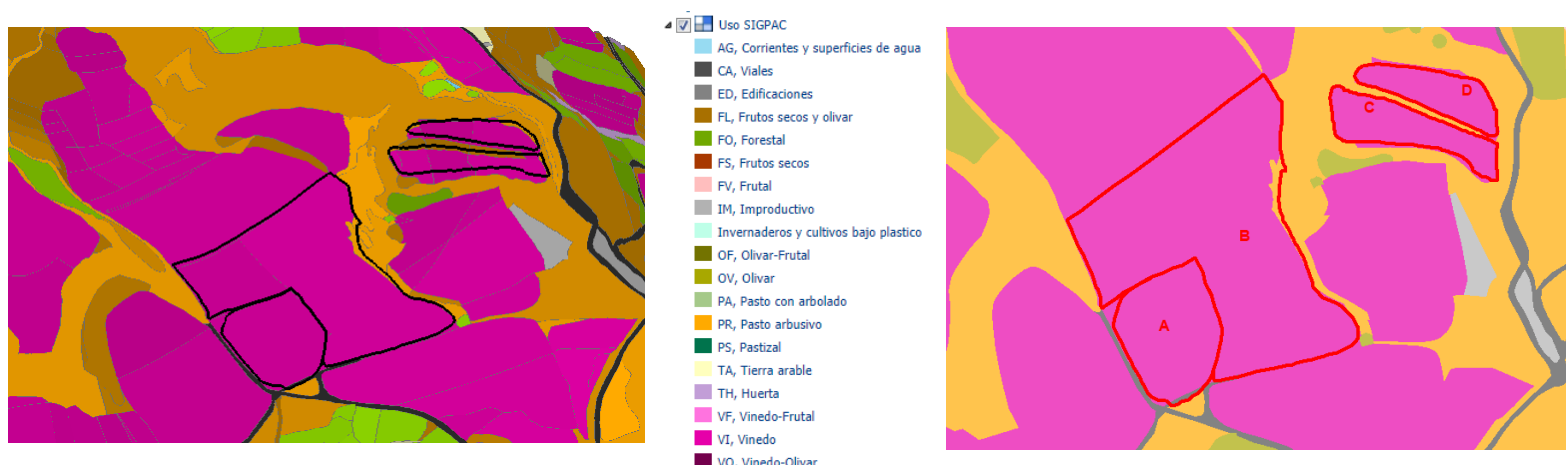


Ilustración 20. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio con la capa del SIGPAC. La ilustración de la izquierda se muestra en una perspectiva tridimensional, mientras que la de la derecha la perspectiva es bidimensional. Fuente: Elaboración propia.

En las próximas líneas se va a ofrecer información acerca de la geología de la zona de estudio. Dentro del ámbito de la geología se presentan las coberturas de la litología y la permeabilidad.

Estas tres coberturas se presentan dentro del portal GeoEuskadi a una escala 1:25000. Teniendo en cuenta que la precisión planimétrica para cualquier escala es de 0.2mm ya que es el límite de percepción visual humana, el error en la precisión de las coberturas mencionadas respecto a la zona de estudio es de entorno a 5m.

Al igual que con la cobertura de la pendiente, las coberturas de la geología descritas van a emplearse posteriormente, con el fin de determinar una posible correlación entre el índice de vegetación y las mencionadas coberturas. Es decir, establecer si existe o no una conexión entre el índice de vegetación y las coberturas dentro de la zona de estudio. Cabe destacar que debido a la precisión con la que se trabaja, la correlación existente va a ser significativa en el caso de que exista una gran variabilidad en el índice de vegetación dentro del área de estudio.



Ilustración 21. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio con la capa de la litología. La ilustración de la izquierda se muestra en una perspectiva tridimensional, mientras que la de la derecha la perspectiva es bidimensional. Fuente: Elaboración propia.

La litología mostrada tiene relación directa con la permeabilidad del suelo. Así, las zonas con una litología compuesta por rocas detríticas de grano grueso como pueden ser las areniscas o gravas, presentan una permeabilidad alta debido a la porosidad de la composición del suelo. Por el contrario, las zonas con una litología de detríticos alternantes ofrecen una permeabilidad baja.

Este hecho puede afectar en el estrés hídrico del cultivo, ya que en zonas con baja permeabilidad, la filtración del agua será mayor y las necesidades hídricas del cultivo varían.

Posteriormente se va a observar la existencia o no de la correlación entre el estrés hídrico que presenta la planta y la permeabilidad de la zona de estudio.

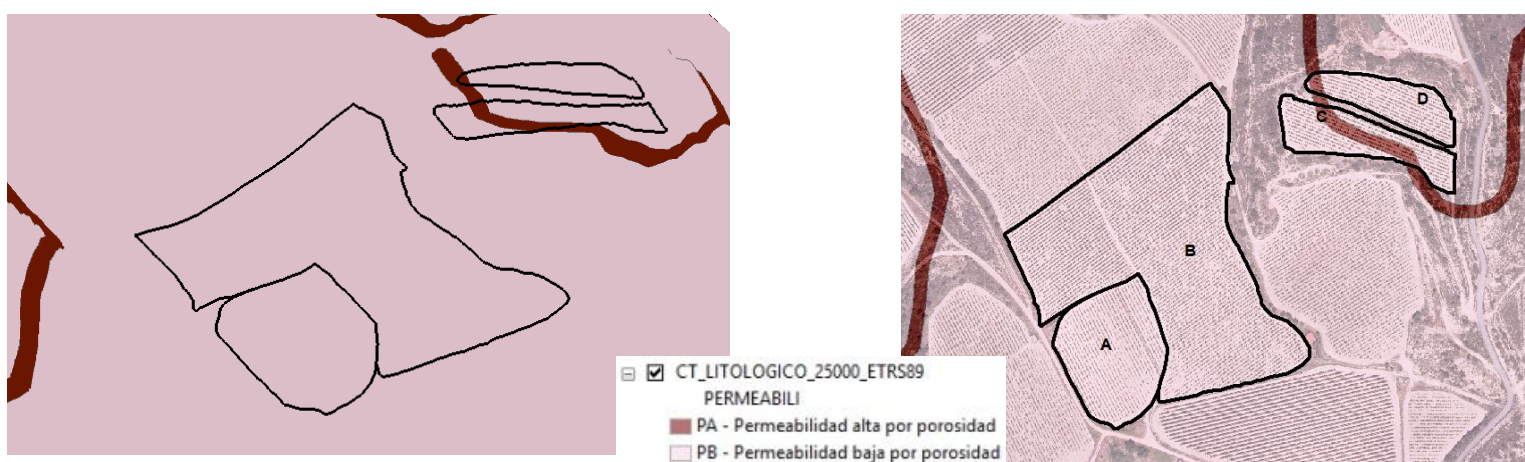


Ilustración 22. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio con la capa de la permeabilidad. La ilustración de la izquierda se muestra en una perspectiva tridimensional, mientras que la de la derecha la perspectiva es bidimensional. Fuente: Elaboración propia

Para finalizar con el análisis de las cubiertas se va a analizar el posible riesgo de incendio dentro del área de estudio. La elección de este riesgo natural se debe al tipo de la cobertura de estudio, la vegetación y a las altas temperaturas que se alcanzan en verano en esta región. Esta cobertura la proporciona el portal GeoEuskadi y viene dada en una escala 1:25000.



Ilustración 23. Se muestra la localización y configuración de las parcelas a estudio con la capa de riesgo de incendio forestal. Donde las parcelas a estudio presentan un riesgo medio. Fuente: Elaboración propia.

4. CAPTURA DE IMÁGENES

Las herramientas empleadas para el seguimiento de viñas pueden diferenciarse en dos según el medio de la captura de las imágenes. Para el caso de la captura aérea a “baja” altura se han empleado sistemas RPAS, mientras que las capturas aéreas de mayor altura se han llevado a cabo desde plataformas satelitales.

4.1. IMÁGENES RGB ADQUIRIDAS CON PHANTOM 4

En el proyecto realizado se han utilizado dos sistemas RPAS. El primero de ellos, el Phantom 4 de tipo multirrotor, consta de una cámara RGB integrada, siendo posible acoplar otro tipo de sensores por medio de impresiones en 3D realizadas a medida.

La funcionalidad o el objetivo en la utilización de este RPAS se centra en el ámbito fotogramétrico. El Modelo Digital de Superficies (MDS) que se obtiene por medio de técnicas fotogramétricas, a diferencia del MDE obtenido vía GeoEuskadi, tiene una notoria mejor resolución espacial, siendo la del MDS de entorno a los 4 cm, por 1m del MDE. Por otra parte y no menos reseñable, es la necesidad de emplear un MDS para obtener una true orto multiespectral ya que con el MDE se conseguiría una orto tradicional donde las viñas se mostrarían inclinadas.

El modelo Phantom 4 de la empresa DJI, tiene integrado un sensor RGB dentro del frame del RPA. Los modelos predecesores integraban el sensor por medio de un gimbal externo el cual podía intercambiarse por otro tipo de sensores (multiespectrales, térmicos etc.)



Ilustración 24. Se muestra el sensor RGB integrado dentro del RPAS Phantom 4.

<https://i0.wp.com/www.dronesbaratosya.com/wp-content/uploads/2016/03/dji-phantom-4-2.jpg?resize=770%2C433&ssl=1>

En el caso que atañe al Phantom 4, el sensor RGB del que dispone tiene las siguientes características que se han resumido por medio de una tabla.

Algunos de estos parámetros, tales como el tamaño del pixel o la distancia focal van a ser de vital importancia en la realización del proceso fotogramétrico para la obtención del Ground Sample Distance (GSD, tamaño de pixel en el terreno) y el Modelo Digital de Superficies (MDS).

	CERACTERÍSTICAS
TIPO SENSOR	CMOS
TAMAÑO SENSOR	6.20 x 4.65 mm
RESOLUCIÓN ESPECTRAL	3 Bandas (RGB)
DISTANCIA FOCAL	3.6125 mm
TAMAÑO IMAGEN	4000 x 3000 pixel
TAMAÑO PIXEL	0.00156192 mm
RANGO ISO	100-1600
OBTURADOR	8-1/8000s
APERTURA	f/2.8

Tabla 9. Se muestran las características técnicas específicas del sensor RGB del Phantom 4.

<https://www.dji.com/es/phantom-4/info>

4.2. IMÁGENES MULTIESPECTRALES ADQUIRIDAS CON SEQUOIA A BORDO DEL PHANTOM 3 PROFESSIONAL

El segundo RPAS que se ha utilizado ha sido el Phantom 3 Professional, este tipo de RPAS al igual que el anterior es del tipo multirrotor. Para la realización del análisis de las parcelas mencionadas, al Phantom 3 Professional se le ha acoplado el sensor multiespectral Parrot Sequoia.

En ambos modelos existe la posibilidad de acoplar dicho sensor. Este acoplamiento reduce considerablemente la autonomía de vuelo del RPAS por lo que es conveniente adquirir más de una batería ya que, en caso contrario imposibilita el mapeo de grandes extensiones de terreno.

El sensor empleado para el análisis del cultivo de la vid en las parcelas anteriormente enmarcadas corresponde a un sensor multiespectral (Parrot Sequoia). Consta de 4 bandas estrechas de las cuales 3 tienen un ancho de banda de 40nm, mientras que en la otra banda el ancho es de 10nm.

La cantidad de luz que capta el sensor se incrementa a medida que aumenta el ancho de banda del filtro. Por regla general, los anchos de banda en los que opera el sensor de 10 y 40 nm proporcionan imágenes ópticas multiespectrales óptimas en los sistemas Parrot Sequoia.



Ilustración 25. Se muestra el sensor multispectral Parrot Sequoia.

<https://www.parrot.com/es/profesional/parrot-sequoia#parrot-sequoia->

Otro de los rangos a tener en cuenta a la hora de hablar de un sensor multispectral es el rango electromagnético que abarca. En este caso, el rango oscila entre los 530 y 810 nm, es decir, entre el VIS y NIR.

NOMBRE	BANDA	LONGITUD DE ONDA (nm)
550 BP 40	VERDE	530-570
660 BP 40	ROJO	640-680
735 BP 10	RED EDGE	730-740
790 BP 40	NIR	770-810

Tabla 10. Se muestran las características técnicas específicas del sensor multispectral de Parrot Sequoia.

<https://www.parrot.com/es/profesional/parrot-sequoia#parrot-sequoia->

Cada banda del sensor cumple una función o tiene ciertas características que influyen en las coberturas a estudio. En las siguientes líneas se van a analizar y describir brevemente cada una de las bandas de las que consta el sensor Parrot Sequoia. Este sensor tiene la particularidad de trabajar en unos intervalos de longitud de onda claves para el seguimiento de las cubiertas vegetales.

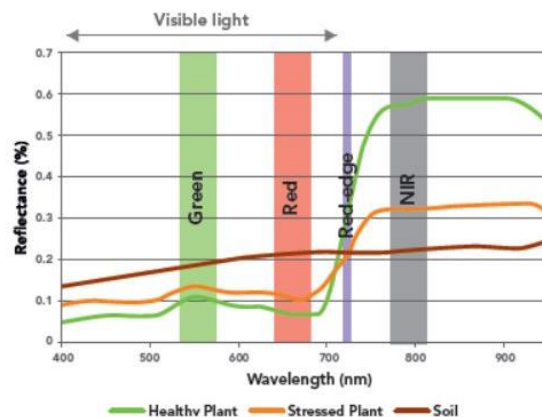


Ilustración 26. Se muestra el rango espectral para cada banda del sensor de Parrot Sequoia.

<https://www.parrot.com/es/profesional/parrot-sequoia#parrot-sequoia->

- **550 BP 40 (VERDE):** La zona del espectro electromagnético con una longitud de onda media de 550nm corresponde a la banda del verde. Esta banda es sensible a las diferencias de turbidez del agua. Otra característica significativa es la predicción del contenido de clorofila debido al pico que surge en las curvas de reflectancia espectral en la vegetación.

- **660 BP 40 (ROJO):** La zona del espectro electromagnético con una longitud de onda media de 660nm corresponde a la banda del rojo. En este rango del espectro es donde se produce la máxima absorción. Esta absorción puede verse afectada por factores como el tipo de cultivo, composición del suelo, estrés de las plantas etc.

- **735 BP 10 (RED EDGE):** La zona del espectro electromagnético con una longitud de onda media de 735nm corresponde a la zona del Red Edge. Este concepto se ha analizado en el apartado 1.1.7 que atañe a los índices de vegetación. Esta banda es sensible a las variaciones temporales en el crecimiento de los cultivos y el estrés de la vegetación. Por otra parte, proporciona información adicional sobre la cantidad de clorofila y nitrógeno de las plantas.

- **790 BP 40 (NIR):** La zona del espectro electromagnético con una longitud de onda media de 790nm corresponde a la zona del NIR o infrarrojo cercano. Esta zona del espectro es la que mayor reflectancia capta por parte de la vegetación por lo que es de vital importancia para estudios donde entra en juego la vegetación.

Una vez analizados de manera pormenorizada cada una de las bandas que compone el sensor a emplear en el estudio, con el fin u objetivo de comprender mejor lo expresado se ha detallado el rango espectral de la Parrot Sequoia de manera gráfica.

Otras características a reseñar son las referentes al tamaño del sensor, tamaño de pixel, distancia focal etc. Esta información se muestra en forma de tabla.

	CERACTERÍSTICAS
TIPO SENSOR	CMOS
TAMAÑO SENSOR	4.6 x 3.6 mm
RESOLUCIÓN ESPECTRAL	4 Bandas (VIS-NIR)
DISTANCIA FOCAL	3.98 mm
TAMAÑO IMAGEN	1280 x 960 pixel
TAMAÑO PIXEL	3.75 μ m

Tabla 11. Se muestran las características técnicas específicas del sensor Parrot Sequoia.

<https://www.parrot.com/es/profesional/parrot-sequoia#parrot-sequoia->

4.3. IMÁGENES MULTIESPECTRALES ADQUIRIDAS CON LA PLATAFORMA SATELITAL SENTINEL-2

La segunda metodología empleada para el estudio o seguimiento de las viñas en la zona de la Rioja-Alavesa ha sido el uso de imágenes multiespectrales procedentes de plataformas satelitales. Las plataformas satelitales y sensores a bordo de las mismas son muy diversas. Algunas de ellas ofrecen los productos de manera gratuita, mientras que otras solo se pueden adquirir previo pago.

Tras analizar las características de satélites cuyos productos se pueden adquirir de forma gratuita (Landsat 8, Sentinel-2), se ha llegado a la conclusión de emplear los productos ofrecidos por Sentinel-2. Esta plataforma consta de dos satélites, Sentinel 2A y Sentinel-2B, ambos junto a Sentinel-1 (RADAR) forman la constelación de Copernicus.

Por lo tanto, tal y como se ha mencionado, Sentinel-2 presenta diversas ventajas respecto a Landsat 8. Para una mejor visualización o comprensión de las diferencias más significativas entre ellas se presenta la siguiente tabla, mostrándose en un recuadro de color verde las ventajas de un satélite sobre el otro.

SENSOR	FECHA (I/F)	RES ESPECTRAL	RES ESPACIAL	RES TEMPORAL	TAMAÑO ESCENA
LANDSAT 8 OLI	2013/?	10+ 1 (PAN)	30m (15m PAN)	16 días	185 x 170 Km
SENTINEL 2	2015/?	13	10-20m (60m)	10 días (5 días)	290 x 290 Km

Tabla 12. Se muestran algunas características de las plataformas gratuitas Landsat 8 y Sentinel-2.
Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, desde abril de 2017 la plataforma de descarga que ofrece la ESA para los productos de Sentinel 2, permite obtener al usuario un producto de nivel 2A. Es decir, el producto de descarga directo tiene valores de reflectancia en superficie, hecho que implica no tener que realizar una corrección radiométrica (atmosférica) posterior.

A continuación se muestran brevemente algunas características generales de la plataforma satelital Sentinel 2.

	CARACTERÍSTICAS
AUTORIDAD COMPETENTE	ESA
PROGRAMA	COPERNICUS
LANZAMIENTO SENTINEL 2A	23 de Junio de 2015
LANZAMIENTO SENTINEL 2B	7 de Marzo de 2017
ALTURA ORBITAL	786 Km
ANCHO DE FRANJA	290 x 290 Km
RESOLUCIÓN TEMPORAL	10 días (Ambos Sat. 5 días)
RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA	12 bits

Tabla 13. Se muestran algunas características específicas de las plataformas Sentinel 2A y Sentinel 2B.
Fuente: Elaboración propia.

Otra de las características importantes a tener en cuenta es la resolución espectral, donde se determina el rango de longitud de onda para cada banda y la resolución espacial asociada a esa banda.

BANDAS	LONGITUD DE ONDA MEDIA (μm)	ANCHO DE BANDA (μm)	RESOLUCIÓN ESPACIAL (m)
Banda 1 (Aerosol)	0.443	0.020	60
Banda 2 (Azul)	0.490	0.065	10
Banda 3 (Verde)	0.560	0.035	10
Banda 4 (Rojo)	0.665	0.030	10
Banda 5 (NIR - Red Edge)	0.705	0.015	20
Banda 6 (NIR - Red Edge)	0.740	0.015	20
Banda 7 (NIR)	0.783	0.020	20
Banda 8 (NIR)	0.842	0.115	10
Banda 8a (NIR)	0.865	0.020	20
Banda 9 (Vapor de Agua)	0.945	0.020	60
Banda 10 (Cirrus)	1.378	0.030	60
Banda 11 (SWIR)	1.610	0.090	20
Banda 12 (SWIR)	2.190	0.180	20

Tabla 14. Se muestran la resolución espectral y espacial de las plataformas Sentinel 2A y Sentinel 2B.
 Fuente: Elaboración propia.

Otra manera de interpretar la tabla expuesta es por medio de la representación gráfica, donde se presenta la longitud de onda o el rango espectral que abarca cada banda y la resolución espacial a la que pertenecen.

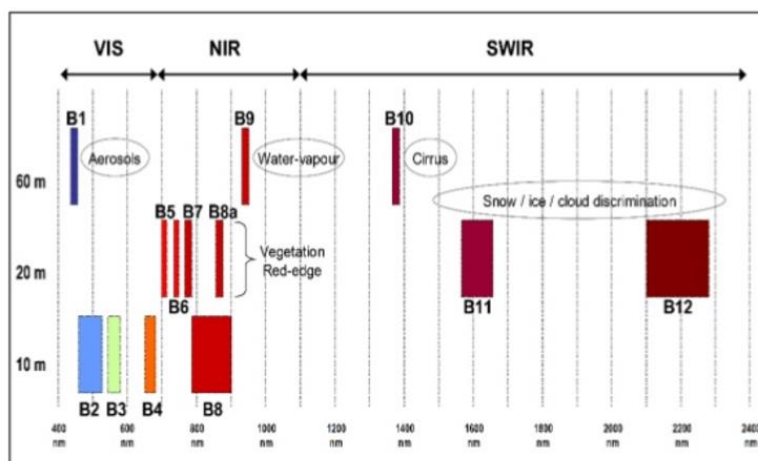


Ilustración 27. Se muestran la resolución espectral y espacial de las plataformas Sentinel 2A y Sentinel 2B.

<http://danielmarin.naukas.com/files/2015/06/Captura-de-pantalla-2015-06-24-a-las-20.28.54.png>

5. MÉTODOLOGÍA DE TRABAJO PARA GENERAR LOS MAPAS DE VIGOR

5.1. PLANIFICACIÓN DE LOS VUELOS FOTOGRAMÉTRICOS

De manera previa a la planificación de cualquier vuelo realizado por medio de un RPAS, cobra vital importancia contemplar si la región a estudiar cumple con la legislación vigente analizada en el apartado 1.1.3.1.

Tras cerciorar de la viabilidad legislativa del vuelo, se ha procedido a la realización de la planificación del mismo. Cabe mencionar que al operar con dos RPAS diferentes, el Phantom 4 para determinar el proceso fotogramétrico y obtención del MDS y por otra parte, el Phantom 3 Professional con el sensor Parrot Sequoia con el objetivo de establecer el análisis multiespectral, se han planificado dos vuelos diferentes, uno para cada RPAS empleado.

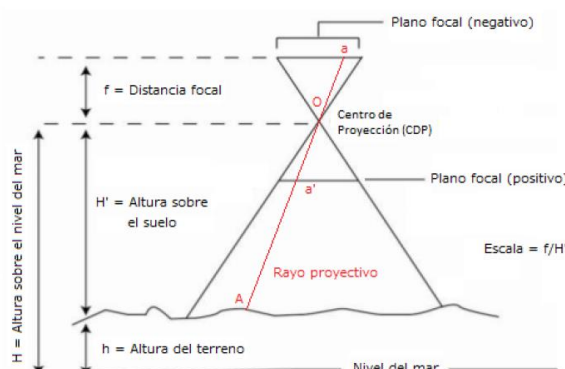
A la hora de diseñar la planificación de un vuelo por medio de un RPAS, el primer dato necesario es la delimitación de la zona de trabajo. Ésta debe definirse por medio de un archivo vectorial (formato shapefile por ejemplo) sobre una ortofoto. Con la zona de estudio delimitada es imprescindible aplicar unos márgenes de seguridad, es decir, la zona de vuelo debe ser más grande que la zona de estudio, con el objetivo de que exista cierto solape en los límites de las parcela de estudio.

Otros factores principales a considerar son el GSD (Ground Sample Distance) y el solape, tanto longitudinal como transversal. Estos factores mencionados tienen relación directa con el relieve ya que debido a la influencia de este último pueden variar tanto el GSD como los solapes.

En las siguientes líneas se han examinado de manera pormenorizada los factores influyentes mencionados en la planificación de un vuelo.

❖ GSD (Ground Sample Distance)

El GSD o Ground Sample Distance en sus siglas en inglés corresponde al tamaño de cada pixel en el terreno. Este parámetro es dependiente de la distancia focal (f) y del tamaño del sensor y de la altura del vuelo (H).



$$GSD = \frac{H' \times \text{Tamaño Sensor}}{f}$$

Ilustración 28. Se muestra los parámetros fotogramétricos básicos y la relación entre ellos. (Victor 2017)

Para el caso que atañe a este proyecto, tal y como se ha matizado anteriormente, los sensores empleados se diferencian en el sensor RGB para el proceso fotogramétrico y el sensor multiespectral para el análisis multiespectral del cultivo de la vid. Al emplear sensores diferentes los parámetros de focal y tamaño de pixel varían, por lo que el cálculo de GSD se ha realizado por partida doble.

1- Cálculo del GSD para el sensor RGB del Phantom 4:

Cabe destacar que debido al desnivel de la zona de estudio, se ha optado por realizar dos vuelos, el primero que abarca las parcelas A y B y el segundo donde se ubican las parcelas que se encuentran a mayor altitud, las parcelas C y D. En ambos casos la altura de vuelo respecto al suelo ha sido la misma, 50m.

$$GSD = \frac{H' \times \text{Tamaño Sensor}}{f} = \frac{50000\text{mm} \times 0.00156192\text{mm}}{3.6125\text{mm}} = 21.62\text{mm} = 2.2\text{cm}$$

2- Cálculo del GSD para el sensor multiespectral del sensor Parrot Sequoia:

Al igual que se ha visto para el caso anterior, el desnivel de la zona de estudio condiciona la planificación del vuelo a realizar. Por ello, se determina efectuar dos vuelos, el primero para las parcelas que se encuentran a menor altitud, es decir, las parcelas A y B, y en segundo lugar, las parcelas que se ubican a una mayor altitud que corresponden a las parcelas C y D.

$$GSD = \frac{H' \times \text{Tamaño Sensor}}{f} = \frac{50000\text{mm} \times 0.00375\text{mm}}{3.98\text{mm}} = 47.11\text{mm} = 4.71\text{cm}$$

A modo de resumen, cabe mencionar que tal y como se observa en la fórmula, el GSD aumenta cuanto mayor sea la altura del vuelo respecto al terreno y menor sea la distancia focal.

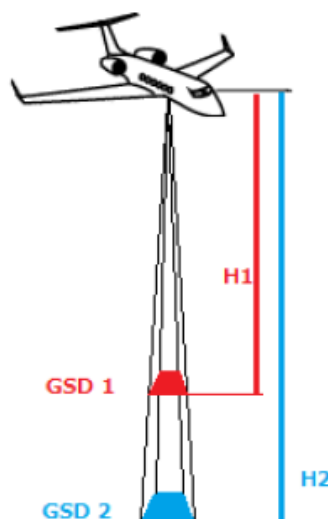


Ilustración 29. Se muestra la variación del GSD respecto a la altura de vuelo sobre el terreno. (Victor 2017)

❖ Solape

El término de solape, dentro de la fotogrametría se denomina al recubrimiento tanto longitudinal como transversal entre las diferentes imágenes, es decir, las zonas comunes que se observan en una o más imágenes o fotogramas (Victor, 2017b).

El solape longitudinal es el solape necesario entre fotografías aéreas sucesivas de una misma pasada, mientras que el solape transversal hace referencia al solape entre bandas o pasadas del vuelo. El objetivo de estos solapes es permitir la unión de fotografías para realizar los denominados fotomosaicos u ortomosaicos (Victor, 2017b).

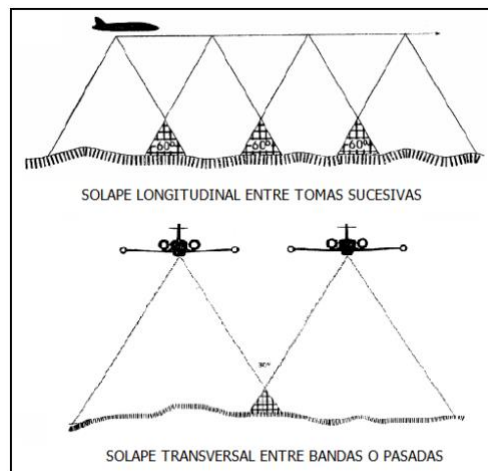


Ilustración 30. Se muestra la definición de los solapes longitudinales y transversales. (Centro de Geociencias 1981)

❖ Relieve

Tal y como se ha visto hasta el momento, el relieve tiene una influencia directa respecto a la variación que tienen el GSD y los solapes. Un vuelo fotogramétrico efectuado a una altitud constante respecto al nivel del mar, en una zona con relieve abrupto, tanto el valor del GSD como el solape longitudinal o transversal es mayor en las áreas donde la altitud sea menor.

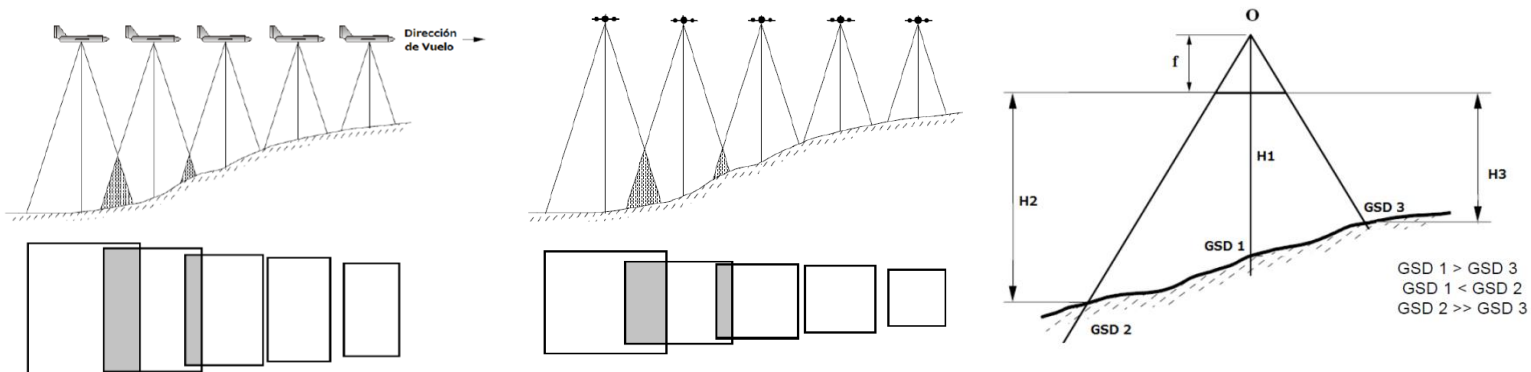


Ilustración 31. Se muestra las diferencias causadas en los solapes longitudinales y transversales y en el GSD a cuenta del relieve irregular (Victor 2017).

Con el fin de minimizar esta problemática de afección de la altitud del terreno a la planificación de vuelo, se pueden establecer diferentes soluciones. Cabe reseñar que la planificación de un vuelo fotogramétrico en una zona de relieve irregular se recomienda y se debe realizar perpendicular al ascenso de la pendiente.

Teniendo esto en cuenta, los problemas generados se centran en el solape transversal. La primera de las soluciones factibles trata de modificar la altura del vuelo conservando así el tamaño del GSD. Otra manera de solventar el problema del relieve es reducir la distancia entre pasadas, en este caso el tamaño del GSD va a variar en cada pasada.

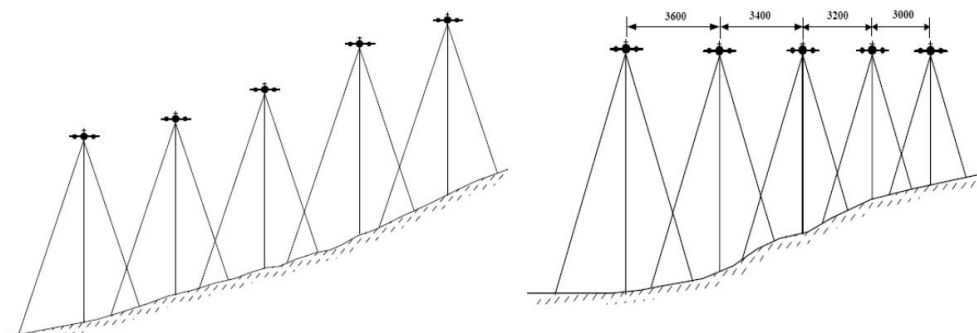


Ilustración 32. Se muestra en las posibles soluciones para solventar el problema del solape transversal en un relieve irregular. En la izquierda se muestra una modificación de alturas para cada pasada, mientras que en la derecha una reducción de la distancia entre pasadas (Victor 2017).

5.1.1. PLANIFICACIÓN DEL VUELO FOTOGRAMÉTRICO PARA EL SENSOR RGB

La planificación para el RPAS Phantom 4 se ha llevado a cabo por medio del software Pix4Dcapture. Este software se encuentra como aplicación (app) para smartphones o tablets para los sistemas operativos Android o IOS y es totalmente gratuita.

Como desventaja de este software, consta la imposibilidad de variar la altura de vuelo sobre el terreno entre las diferentes pasadas. Este hecho repercute en los dos factores antes observados, el solape y el GSD.

Debido a esta problemática y teniendo en cuenta el desnivel en la zona de estudio, se ha dividido la planificación del vuelo en dos. Como consecuencia, se minimiza la variación del tamaño del pixel en el terreno (GSD) y el problema de falta de solape.

5.1.1.1. Planificación del vuelo para las parcelas C y D

Una vez dentro de la aplicación, en primer lugar se delimita la zona de estudio para adecuar la rejilla a las parcelas C y D. Cobra gran importancia dejar un margen de seguridad, cubriendo la grilla más superficie que el área a estudiar.

Otro parámetro a tener en consideración es la altura de vuelo sobre el terreno. Este parámetro junto a las características del sensor son las que definen el tamaño de pixel en el terreno (GSD). Para esta ocasión y con el objetivo de obtener un Modelo Digital de Superficies (MDS) con mayor resolución se opta por realizarlo a una altura de 50m. La velocidad del RPAS es preferible que sea constante y no muy rápida para una mejor captura de los fotogramas. El ángulo de la cámara siempre debe ser nadiral o cenital por lo que se establece en 90°. Finalmente, se ofrece un solape tanto longitudinal como transversal del 80%.

De manera adicional, una vez constituida la rejilla o grilla, el software te ofrece como resultado un tiempo estimado de vuelo que en este caso es de 7 minutos.

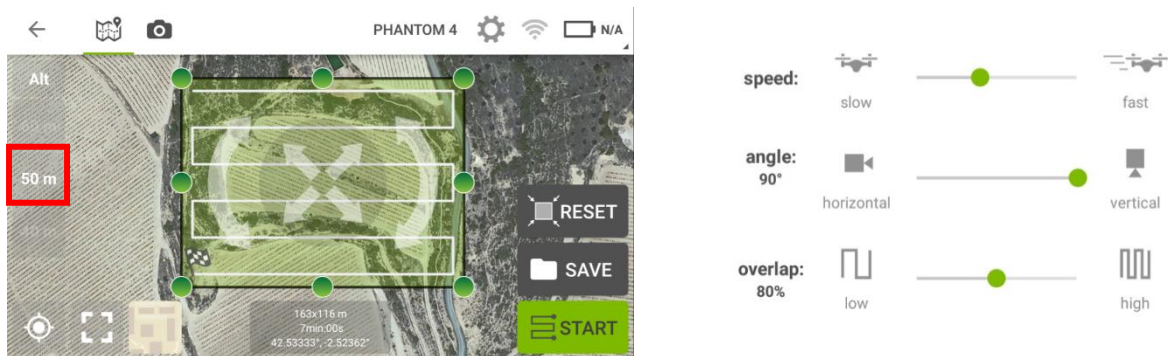


Ilustración 33. Se muestra la grilla de la zona de estudio con la altura, velocidad y solape que se observan en las imágenes. Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.2. Planificación del vuelo para las parcelas A y B

De igual manera se realiza el mismo proceso para las parcelas A y B fijando la altura sobre el terreno a 50m para obtener un tamaño del pixel pequeño sobre el terreno (GSD). La velocidad de la aeronave se establece en un modo lento, el ángulo de la cámara o sensor se asigna en 90° y finalmente, el solape para cada pasada y entre la misma pasada se determina en 80%.

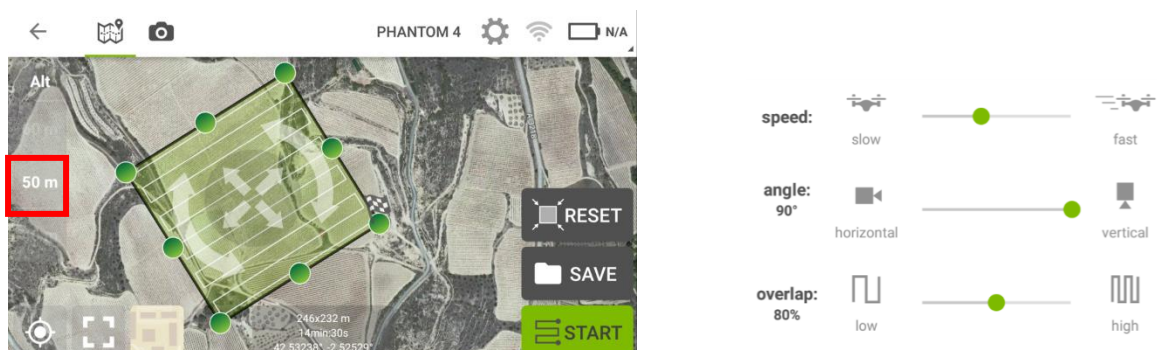


Ilustración 34. Se muestra la grilla de la zona de estudio con la altura, velocidad y solape que se observan en las imágenes. Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. PLANIFICACIÓN DEL VUELO FOTOGRAMÉTRICO PARA EL SENSOR MULTIESPECTRAL

Cabe mencionar que el funcionamiento del sensor Parrot Sequoia no tiene interacción con el RPAS en cuestión. Por ello, es necesario saber diferenciar la forma en la que operar con este tipo de sensor.

En primer lugar, se precisa realizar una planificación del vuelo para el RPAS donde se encuentra integrado o incorporado el sensor multiespectral. Al igual que para el vuelo RGB, se ha llevado a cabo por medio del software Pix4Dcapture. Cabe destacar que por medio de este software el objetivo es delimitar el recorrido que va a efectuar el RPAS con el sensor multiespectral incorporado.

En segundo lugar, con la planificación efectuada, entra en juego el modo de funcionamiento del sensor multiespectral Sequoia.

Sequoia aloja una interfaz Wi-Fi que permite especificar un método de disparo de imágenes al sensor, accediendo a una URL web específica en cualquier navegador.

De forma inicial se conecta al Wi-Fi del sensor y por medio de la dirección ip 192.168.47.1 se accede a la ventana de configuración del sensor por medio de un navegador web.

En la ventana del navegador web resultante se define el método de captura. Éste puede establecerse por medio de un intervalo de tiempo y teniendo en cuenta un intervalo de distancia recorrida (GPS).

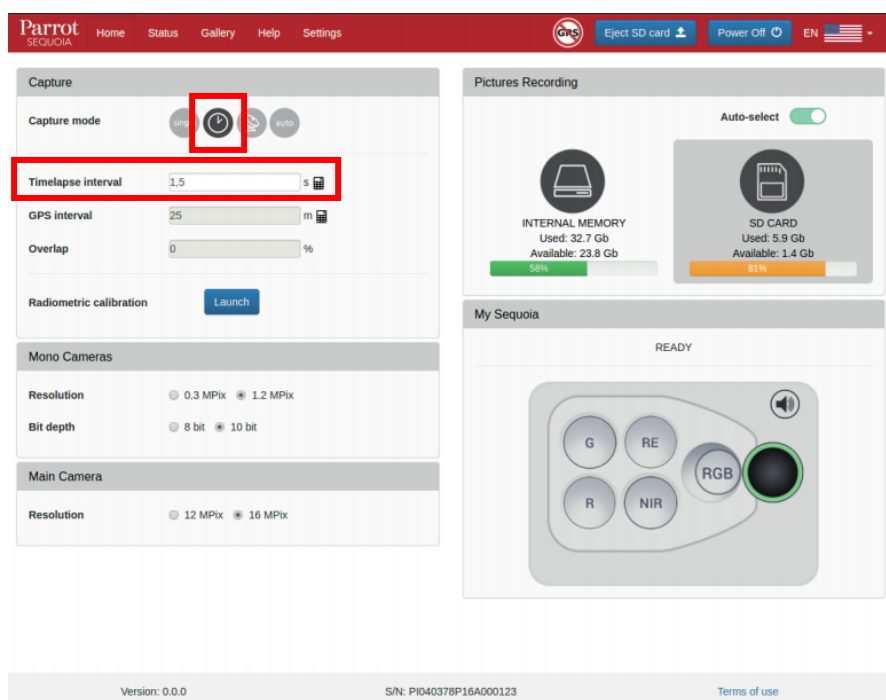


Ilustración 35. Se muestra la ventana de navegación de la Sequoia con los modos de captura anteriormente nombrados, en este caso se selecciona el método de intervalo de tiempo. Fuente: Elaboración propia.

En el marco de este trabajo se han realizado dos vuelos con RPAS. El primero de ellos, en un estado fenológico medio del cultivo, en el momento denominado envero (Color rojizo o dorado que toman los frutos cuando empiezan a madurar) y el segundo de ellos en la época de maduración posterior al envero.

Para ambos vuelos, la planificación tanto del recorrido del vuelo como de los parámetros definidos para el sensor multiespectral de Sequoia de Parrot han sido los mismos.

Otro de los aspectos a tener en cuenta para la planificación de los vuelos multiespectrales ha sido la hora de la realización del propio vuelo. El horario de vuelo tiene una relación directa con la elevación del sol. Este hecho puede implicar que a una elevación superior a los 40 grados sexagesimales (Aragón 2015) las imágenes capturadas presenten reflexiones especulares o hot spot.

Tal y como se observa en el apartado 5.3.2 que corresponde al pre-procesado de las imágenes multiespectrales, para ambos vuelos se han producido este tipo de anomalías. A pesar de tener en cuenta las consignas expuestas en la ilustración 36, por diversos problemas técnicos acaecidos en campo el día de la captura de datos, se produjeron los efectos de sobre-exposición o saturación en las imágenes capturadas teniendo que realizar la corrección pertinente.

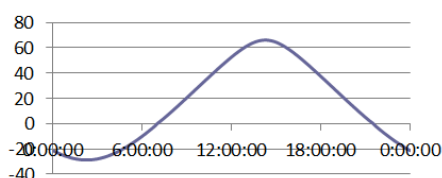
A continuación se muestra por medio de un programa de elevación solar de NOAA, la elevación solar del sol a una latitud y longitud determinada para un día específico. Para el caso que atañe el proyecto en cuestión se han determinado los días 29 de Julio y 17 de Agosto.

29 de Julio de 2017

NOAA Solar Calculations - Change any of the highlighted cells to get solar position data for that location and date.

Latitude (+ to N)	42.53276
Longitude (+ to E)	-2.525223
Time Zone (+ to E)	2
Date	29/07/2017

Solar Elevation vs. Hour of Day



17 de Agosto de 2017

NOAA Solar Calculations - Change any of the highlighted cells to get solar position data for that location and date.

Latitude (+ to N)	42.53276
Longitude (+ to E)	-2.525223
Time Zone (+ to E)	2
Date	17/08/2017

Solar Elevation vs. Hour of Day

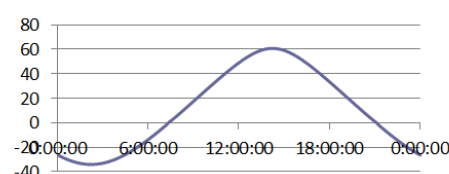


Ilustración 36. Se muestra la relación elevación solar, para los días especificados y a la latitud y longitud definidas. Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.1. Planificación del vuelo para las parcelas C y D

Las planificaciones de los vuelos para las parcelas de estudio C y D han sido las mismas que las realizadas para el sensor RGB. Una vez determinado el recorrido a efectuar por el RPAS, se ha inicializado la toma de datos por parte del sensor Parrot Sequoia desde el momento anterior al despegue hasta el momento del aterrizaje.

Posteriormente, en gabinete se han seleccionado las imágenes pertinentes para la obtención final del ortomosaico, descartando las imágenes capturadas en el momento del despegue y aterrizaje.



Ilustración 37. Se muestra la grilla de la zona de estudio con la altura, velocidad y solape que se observan en las imágenes. Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.2. Planificación del vuelo para las parcelas A y B

La metodología empleada para la planificación del vuelo para las parcelas A y B corresponde al vuelo planificado para el RPAS Phantom 4 con el sensor RGB. La altura del vuelo multiespectral al igual que para las parcelas C y D se ha establecido a 50m de altura obteniendo como resultado un GSD de 4,71 cm.

El procedimiento a seguir respecto al uso y funcionamiento del sensor Parrot Sequoia corresponde con el mencionado con el apartado anterior 5.1.2.



Ilustración 38. Se muestra la grilla de la zona de estudio con la altura, velocidad y solape que se observan en las imágenes. Fuente: Elaboración propia.

5.2. EJECUCIÓN DE LOS VUELOS FOTOGRAMÉTRICOS

Durante el transcurso del proyecto se han realizado 3 vuelos fotogramétricos. El primero de ellos con el RPAS Phantom 4 y los otros dos con el sensor multiespectral Parrot Sequoia acoplado al RPAS Phantom 3 Professional.

Como ya se ha mencionado en apartados anteriores, por medio del RPAS Phantom 4 y su sensor RGB se ha realizado el proceso fotogramétrico con la intención de conseguir como resultado el Modelo Digital de Superficies (MDS) para emplearlo en una posterior orto-rectificación de la true ortofoto.

En lo que respecta a los vuelos fotogramétricos ejecutados con el sensor multiespectral Sequoia de Parrot, se han llevado a cabo 2 vuelos, el primero de ellos en la mitad del estado fenológico del cultivo (envero) y el segundo en la época de maduración posterior al envero, que es una de las fases más cruciales de cara a establecer pautas de actuación diferenciales y a determinar subparcelas con características comunes (vendimia selectiva).

Es necesario destacar, la necesidad de trabajar con valores de reflectancia para las imágenes obtenidas por el sensor multiespectral. Para ello, la Sequoia de Parrot cuenta con un teflón de calibración con el que se realiza la conversión de los valores a reflectancia. Este proceso se va analizar más en detalle en la sección correspondiente al post-procesado de las imágenes multiespectrales, apartado 5.4.2.

VUELOS	FECHA	RPAS	SENSOR
1	21 de Julio de 2017	Phantom 4	RGB
2	29 de Julio de 2017	Phantom 3	Sequoia
3	17 de Agosto de 2017	Phantom 3	Sequoia

Tabla 15. Se muestra los diferentes vuelos realizados cada uno con su sensor y objetivo distintos.
Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, cabe diferenciar los análisis realizados por medio de la plataforma satelital Sentinel 2A. La obtención de los datos no es planificable como los RPAS, en este caso, hay que tener ciertas características en cuenta como la resolución temporal, la cobertura nubosa entre otros, hechos que limitan el análisis de la zona de estudio.

VUELO	FECHA	PLATAFORMA SATELITAL	SENSOR
1	18 de Junio de 2017	Sentinel 2A	MSI
2	18 de Julio de 2017	Sentinel 2A	MSI
3	28 de Julio de 2017	Sentinel 2A	MSI
4	17 de Agosto de 2017	Sentinel 2A	MSI

Tabla 16. Se muestra las diferentes imágenes tratadas, para distintas fechas de para la plataforma Sentinel 2A. Fuente: Elaboración propia

5.3. PRE-PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

El pre-procesado, tal y como se viene comentando hasta el momento se ha diferenciado para el análisis RGB del Phantom 4 y para el multiespectral del sensor Sequoia de Parrot. De manera añadida se han pre-procesado imágenes procedentes de la plataforma satelital Sentinel-2.

5.3.1. PRE-PROCESADO DE IMÁGENES DEL SENSOR RGB DEL PHANTOM 4

El pre-procesado de imágenes para el sensor RGB integrado en el Phantom 4, carece de necesidad de realizar ningún tipo de procesamiento previo, en cuanto a la georreferenciación. Este hecho se debe a la integración del sistema GNSS (GPS+GLONASS) del RPAS, por lo que las imágenes quedan automáticamente geoetiquetadas.

Respecto a la corrección de la geometría de las imágenes, debido a las distorsiones geométricas y aberraciones cromáticas producidas por la lente, éstas han sido corregidas posteriormente por medio del software Image Master de Topcon.

Cobra vital importancia este tipo de correcciones para una mayor precisión en los productos a obtener, tales como Modelo Digital de Superficie (MDS) y ortomosaico.

A modo de resultado el software ofrece unos valores numéricos de la calibración, tales como distancia focal, posición respecto al centro del punto principal, y distorsiones radiales y tangenciales.

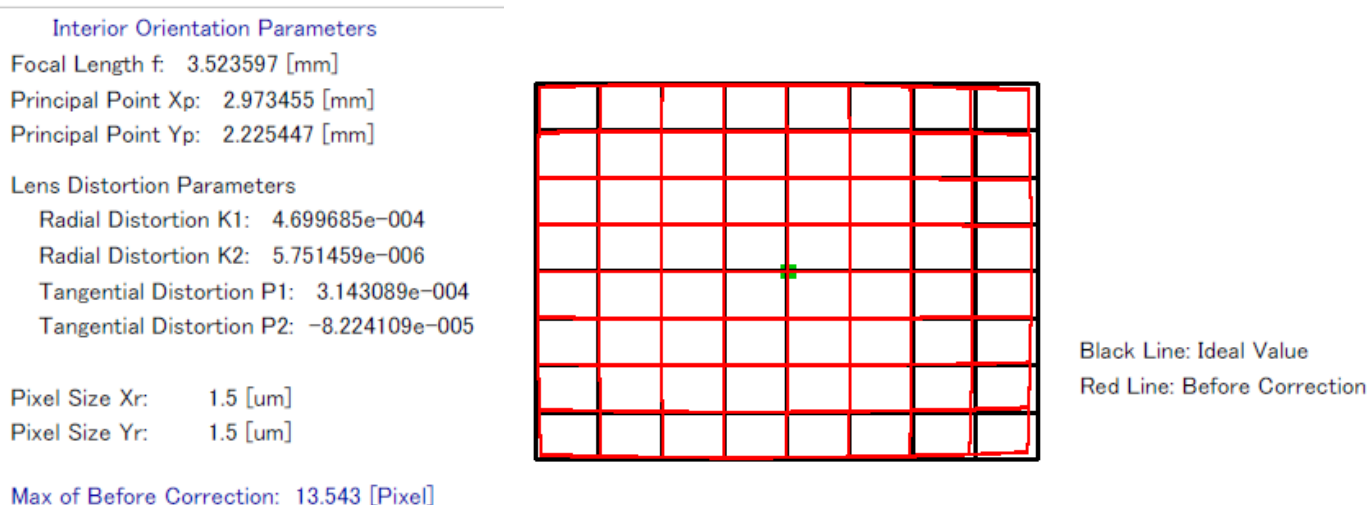


Ilustración 39. Se muestra el resultado de los parámetros de distorsión del sensor analizado junto a su representación gráfica. Fuente: Elaboración propia.

Un dato significativo que muestra el software es la corrección máxima realizada. En este caso asciende a 13.543 píxeles. A modo de ejemplo, cabe mencionar que teniendo un tamaño de pixel en el terreno (GSD) de 2 cm, el error en ese punto ascendería 27cm.

Este hecho marca más que la importancia, la gran necesidad de efectuar la calibración geométrica del sensor para cualquier proceso fotogramétrico, donde el objetivo del trabajo se centre en la geolocalización de los elementos.

Los productos (Modelo Digital de Superficie, ortofoto etc.) obtenidos como resultado final adquieren una mayor precisión espacial.

5.3.2. PRE-PROCESADO DE IMÁGENES DEL SENSOR SEQUOIA DE PARROT

Al igual que con el sensor RGB, debido al empleo de GPS por parte del sensor de Sequoia, no es necesaria la georreferenciación de las imágenes ya que están geotiquetadas.

Sin embargo, las imágenes obtenidas por medio del sensor Sequoia necesitan una calibración radiométrica.

La calibración radiométrica para este tipo de sensor multiespectral se traduce en una transformación de los valores iniciales de la imagen capturada, es decir, Niveles Digitales (ND). Para el cálculo de los índices de vegetación es necesario trabajar con valores de reflectancia.

Cabe reseñar, que para las correcciones radiométricas de las imágenes capturas de las parcelas de estudio, la empresa de Parrot ofrece con la compra de sensor Sequoia una tarjeta o teflón de calibración para la transformación de los valores digitales a valores de reflectancia.

El software empleado para las correcciones radiométricas para cada banda de las imágenes capturas en el vuelo efectuado tiene como nombre Pix4D Mapper siendo Pix4D la empresa propietaria.

El software Pix4D integra dentro del flujo de trabajo para obtención del ortomosaico el proceso de calibración radiométrica mencionado.

Cabe destacar la importancia de esta corrección radiométrica debido al objetivo del proyecto que no es más que el análisis de respuesta radiométrica del sensor y su relación con el vigor del área de estudio, que en este caso se ha enfocado al cultivo vitivinícola.

A continuación se detalla el proceso realizado de una manera breve.

- 1- Determinar un proyecto nuevo: Sistema de referencia etc.
- 2- Añadir imágenes multiespectrales capturadas por el sensor Sequoia.
- 3- Proceso inicial: Calibración de las cámaras, puntos homólogos y emparejamientos.
- 4- Creación de la nube de puntos: Importar y establecer los puntos de control.
- 5- Creación del MDS y ortomosaico para cada banda en valores de reflectancia.

Finalizado el proceso de obtención del ortomosaico para cada banda, se observa de un problema surgido debido a una saturación producida por el brillo del sol. Esta problemática surge en zonas de suelo desnudo en las bandas Verde y Rojo donde la reflectancia de este tipo de coberturas es mayor.

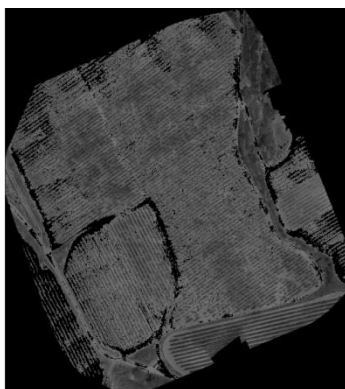
Las zonas con saturación presentan una carencia de valor numérico, es decir, NoData. Con el fin de subsanar este error que aparece fundamentalmente en píxeles entre hileras y poder operar con los ortomosaicos obtenidos, se opta por observar la reflectancia de los píxeles que forman parte de la cobertura del suelo desnudo.

Cabe reseñar, que la problemática mencionada aparece tanto en el vuelo realizado el 29 de Julio como en el del 17 de Agosto para las parcelas A, B, C y D.

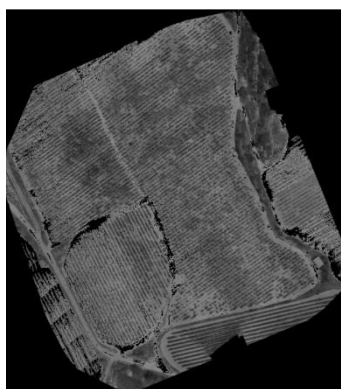
La zona de estudio, es decir, la cobertura vegetal, no sufre daño alguno por lo que se toma como válido y apto el vuelo para el análisis de los índices de vegetación.

Cabe destacar que esta problemática ha aparecido en los dos vuelos multiespectrales realizados con el sensor Parrot Sequoia. A modo de ejemplo, en las siguientes ilustraciones se muestran las imágenes con los píxeles saturados etiquetados como NoData antes y después de la corrección efectuada para el primer vuelo.

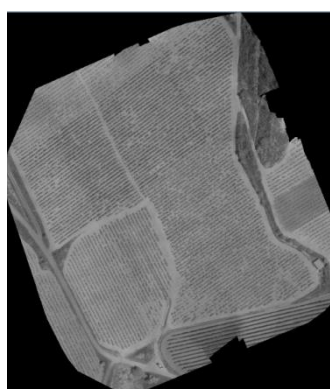
GREEN



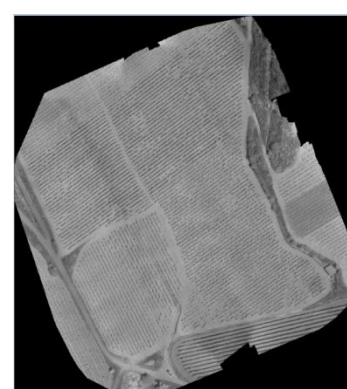
RED



RED EDGE



NIR



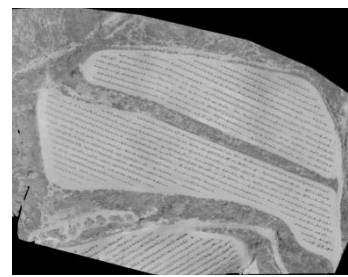
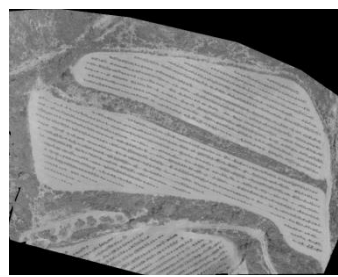
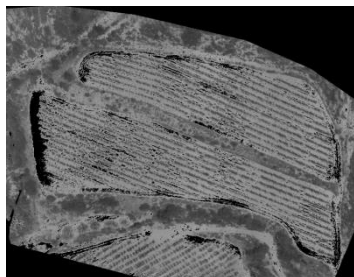
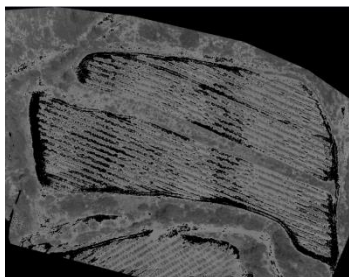
GREEN
RED
RED EDGE
NIR


Ilustración 41. Se muestra el resultado del ortomosaico para cada banda del sensor Sequoia de Parrot para las parcelas C y D.

Fuente: Elaboración propia.

En las ilustraciones se visualiza la problemática mencionada. La cobertura del suelo desnudo sufre la saturación del sensor en las longitudes de onda del Verde y del Rojo, mientras que a mayores longitudes de onda, esta problemática queda subsanada.

La ausencia de valores en dichas zonas (valores NoData), son reemplazados por el valor medio de un muestreo de 20 píxeles de la cobertura del suelo desnudo. Este muestreo se ha diferenciado para las parcelas A y B y para las parcelas C y D.

	PARCELAS A Y B		PARCELAS C Y D	
	GREEN	RED	GREEN	RED
VALOR DEL PIXEL	0.169849	0.186148	0.232103	0.27164
	0.170484	0.185544	0.235205	0.276541
	0.141149	0.239327	0.227999	0.303568
	0.154956	0.224714	0.213651	0.293941
	0.175226	0.223664	0.197798	0.311661
	0.158116	0.197696	0.203983	0.340362
	0.133992	0.182283	0.201263	0.307971
	0.168987	0.205228	0.215466	0.284041
	0.13159	0.192026	0.233161	0.306467
	0.159598	0.217452	0.205291	0.313812
	0.16199	0.22445	0.200995	0.286891
	0.144359	0.36358	0.203589	0.277402
	0.150357	0.228478	0.207533	0.306485
	0.157932	0.241575	0.237964	0.306343
	0.149075	0.218352	0.220193	0.318541
	0.160154	0.247561	0.210511	0.313923
	0.167502	0.20582	0.203891	0.322469
	0.141404	0.249333	0.226348	0.34044
	0.153596	0.237332	0.217814	0.279211
	0.159618	0.223225	0.231216	0.286205
MEDIA	0.1554967	0.2246894	0.2162987	0.3023957

Tabla 17. Se muestra el muestreo de 20 píxeles de la cobertura de suelo desnudo para cada banda afectada.

Fuente: Elaboración propia.

Por medio del proceso analizado queda finalizado el reemplazo de los valores NoData por el valor medio del muestreo de la cobertura del suelo desnudo para las bandas Verde y Rojo.

Este proceso se ha efectuado tanto para el ortomosaico de las parcelas A y B, como para el ortomosaico de las parcelas C y D, siendo el producto resultante los que se muestran en las ilustraciones 42 y 43.

❖ **Ortomosaicos de las parcelas A y B.**

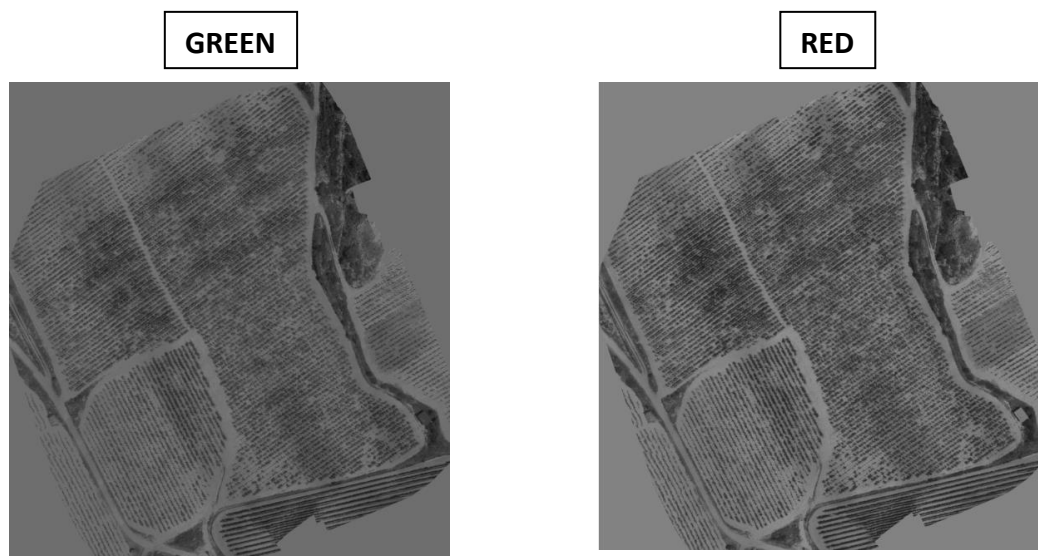


Ilustración 42. Se muestra el resultado del ortomosaico tras realizar la transformación de los valores NoData.
Fuente: Elaboración propia.

❖ **Ortomosaicos de las parcelas C y D.**



Ilustración 43. Se muestra el resultado del ortomosaico tras realizar la transformación de los valores NoData. Fuente: Elaboración propia.

Tras la corrección pertinente no queda más que tratar las parcelas de manera individual. Por lo que el siguiente paso es recortar cada banda con el contorno de cada parcela, obteniendo como resultado las parcelas preparadas para iniciar el cálculo de los índices de vegetación.

5.3.3. PRE-PROCESADO DE IMÁGENES DE LA PLATAFORMA SATELITAL SENTINEL 2

Uno de los objetivos específicos de la documentación de este trabajo ha sido observar las similitudes o discrepancias en los resultados de los índices de vegetación obtenidos vía RPAS o como en este caso, vía plataforma satelital.

En lo que al pre-procesado de las imágenes satelitales de Sentinel 2 respecta, debido a la diferencia existente en el tipo de bandas de las que se compone, es decir, bandas con anchos de banda con un intervalo de longitud de onda pequeño (bandas estrechas) y un intervalo de longitud de onda grande (bandas anchas), y por otra parte bandas con diferentes resoluciones espaciales, es necesario realizar un remuestreo de los datos originales con la finalidad de calcular los diferentes índices de vegetación.

De acuerdo a las características técnicas mencionadas en el apartado 4.3 la plataforma satelital Sentinel 2 consta de las siguientes tipos de bandas.

BANDAS ANCHAS	REGIÓN DEL ESPECTRO	RES. ESPACIAL (m)	BANDAS ESTRECHAS	REGIÓN DEL ESPECTRO	RES. ESPACIAL (m)
B2	Azul	10	B1	Aerosol	60
B3	Verde	10	B5	Red Edge	20
B4	Rojo	10	B6	Red Edge	20
B8	NIR	10	B7	NIR	20
B11	SWIR	20	B8a	NIR	20
B12	SWIR	20	B9	Vapor Agua	60
-	-	-	B10	Cirrus	60

Tabla 18. Se muestra las diferentes bandas de Sentinel-2, divididas en bandas anchas y bandas estrechas.
Fuente: Elaboración propia

La tabla mostrada representa de forma clara la discrepancia entre bandas anchas y estrechas y la resolución espacial de cada una de ellas. Cabe destacar que la resolución espacial de cada banda no está reñida con la anchura de la banda.

Este proceso se ha llevado a cabo, debido a que las bandas ópticas de Sentinel-2 tienen una resolución de 10m y 20m. Por este motivo se han remuestreado, para que todas ellas tengan una resolución de 10m. Las bandas de aerosol, cirrus y vapor de agua no es necesario remuestrear ya que no sirven para hacer evaluación de recursos. Sino para corregir el efecto de dispersión atmosférica en las bandas ópticas.

Este hecho implica la necesidad de remuestrear el tamaño de pixel de las diferentes bandas con el fin de poder calcular posteriormente los índices de vegetación pertinentes.

A continuación, a modo de ejemplo, se muestra el resultado obtenido tras el proceso de pre-procesamiento de la imagen Sentinel 2 para el día 18 de Junio de 2017.

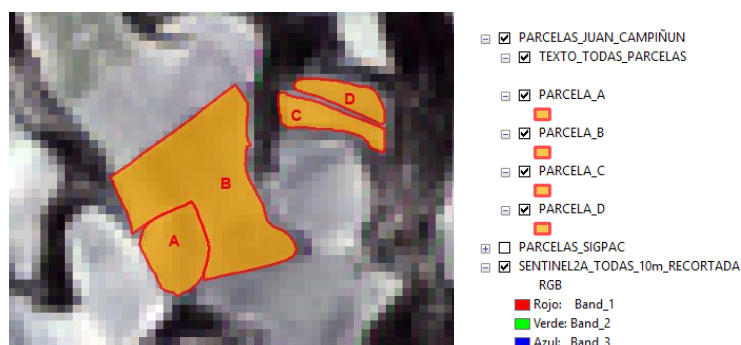


Ilustración 44. Se muestra la imagen Sentinel-2 tras el proceso de remuestreo. Fuente: Elaboración propia.

5.4. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

5.4.1. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DEL SENSOR RGB DEL PHANTOM 4

Una vez realizado el vuelo fotogramétrico con el sensor RGB del Phantom 4, se ha procedido a procesar las imágenes por medio del software Agisoft PhotoScan Professional.

En este apartado se ha querido mostrar de manera exhaustiva y pormenorizada el proceso fotogramétrico a efectuar, desgranando la funcionalidad de cada comando para una mejor comprensión de lo realizado y una visión más completa del software empleado. El objetivo ha sido documentar en un pequeño manual los pasos necesarios para el desarrollo del proceso fotogramétrico.

Cabe destacar que el proceso fotogramétrico pormenorizado corresponde a las parcelas A y B, siendo equivalente el análisis para las parcelas previamente denominadas C y D.

Esta documentación queda establecida dentro del Anexo 1, estructurada en el presente documento en la parte final del mismo.

Así mismo se va a mostrar los resultados o productos obtenidos, tales como la nube de puntos densa, el Modelo Digital de Superficies (MDS), el ortomosaico etc. para cada una de las cuatro parcelas que han sido objetivo de estudio.

Estos productos, al igual que para el caso del tutorial realizado, se han encasillado en el Anexo 2.

5.4.2. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES

El procesamiento de las imágenes multiespectrales, para el cálculo posterior de los índices de vegetación se han dividido en dos procesos o metodologías. La primera de ellas por medio del sensor Sequoia de Parrot a bordo de un RPAS Phantom 3 Professional y la segunda metodología, mediante la plataforma satelital Sentinel 2A.

A continuación se muestra el procedimiento de trabajo seguido para derivar, a partir de las imágenes Sequoia y Sentinel-2, los mapas de vigor de cada parcela.

❖ Selección y cálculo de Índices de vegetación

En primer lugar se ha optado por seleccionar cuatro índices de vegetación para analizar con ambos procesos descritos. Teniendo en cuenta las bandas espectrales en las que trabajan los sensores Sequoia y Sentinel-2, los índices de vegetación seleccionados para el presente estudio han sido NDVI, GNDVI, Red Edge NDVI y TVI. Para ello, se ha basado en los estudios y trabajos analizados en la revisión bibliográfica.

Para el caso de los tres primeros índices el rango de valores que se obtienen se encuentra normalizado entre -1 y 1, mientras que el índice TVI representa el área del triángulo entre el pico verde, la depresión del rojo y la pendiente del NIR.

La selección de los índices ha estado limitada ya que se ha pretendido calcular los mismos índices de vegetación para los ortomosaicos obtenidos por el sensor de Sequoia de Parrot como para las imágenes satelitales provenientes de Sentinel 2A.

Este hecho implica descartar algunos índices de vegetación que tienden a dar buenos resultados tal y como se ha observado en diversos estudios.

5.4.2.1. Procesado de imágenes del sensor Sequoia de Parrot

❖ **Cálculo de las imágenes de índices de vegetación**

Una vez finalizado el proceso de corrección de las bandas correspondientes al Verde y al Rojo y tras recortar cada banda por cada una de las cuatro parcelas de estudio, se han calculado los cuatro índices de vegetación seleccionados.

Cabe reseñar que todos ellos se han calculado para cada una de las parcelas a estudiar, es decir, para las parcelas A, B, C y D y para los dos vuelos multiespectrales realizados. El software empleado para el cálculo ha sido ENVI en su versión 5.3.

Finalmente, queda recalcar que el proceso de la obtención de los diferentes índices de vegetación se ha llevado a cabo para el vuelo del 29 de Julio de 2017 y para el vuelo del 17 de Agosto de 2017.

Los productos obtenidos se muestran en el apartado 6.2.1 de resultados, organizados por vuelo y parcela.

❖ **Obtención de los valores de índice de vegetación por hilera**

El primer proceso a efectuar tras el cálculo de los diferentes índices de vegetación ha sido realizar los mapas de vigor por hileras para cada una de las parcelas de estudio.

Inicialmente se ha procedido a la digitalización de las hileras de viñas, obteniendo como resultado un mapa de líneas para cada una de las parcelas. Cabe destacar que este proceso inicial únicamente se ha efectuado en una ocasión, teniendo validez para el segundo vuelo, ya que la digitalización se encuentra georreferenciada.

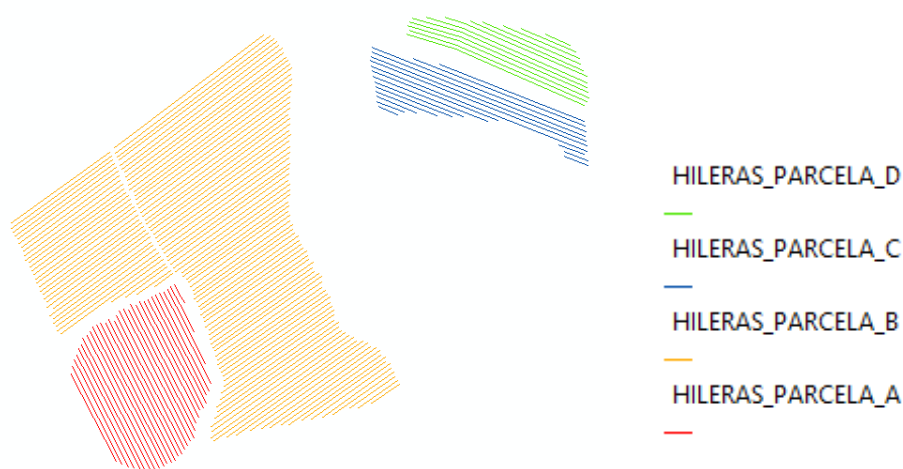


Ilustración 45. Se muestra el resultado tras digitalizar las viñas de las cuatro parcelas de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, y con el objeto de analizar el vigor en unidades diferenciadas por hilera, éstas se han dividido en tramos de 2m de longitud. Este proceso se ha llevado a cabo con el software libre QGIS en su versión 2.18 Las Palmas, empleando el algoritmo v.split.length presente dentro de GRASS.

Además, teniendo en cuenta tras una inspección en campo de la anchura del cultivo de estudio (1m aproximadamente) se ha efectuado un buffer o zona de influencia obteniendo como resultado la delimitación de la vegetación a estudio existente dentro de las parcelas.



Ilustración 46. Se muestra el resultado de la obtención de los hileras divididas en polígonos (1 x 2m). Fuente: Elaboración propia.

Una vez delimitados los polígonos, se han extraído los valores de las imágenes de los diferentes IV de los polígonos creados. El valor asignado a cada polígono ha sido el valor medio de los píxeles pertenecientes al mismo. Este proceso, nuevamente, se ha efectuado con el software comercial ArcGIS.

Una vez asignados los valores medios de los diferentes IV a cada polígono, se les ha aplicado una paleta de color (Verde - Rojo) en función de este valor, siendo verde los valores más bajos y rojo los más altos. En este caso los polígonos se han clasificado en dos grupos (Vigor bajo: Verde / Vigor alto: Rojo).

Los rangos de cada clase se han establecido mediante la opción de rupturas naturales (Natural Breaks). Se ha utilizado esta opción para establecer los rangos de las diferentes clases dado que en la parcela de estudio no existe excesiva variabilidad en el cultivo, y esta opción es la que mejor representa esta variabilidad (mejor que intervalos iguales, geométricos etc.). Esto se debe a que los valores de corte entre clases se caracterizan porque agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. Esta clasificación se basa en el algoritmo de rupturas naturales de Jenks (ArcGIS, 2016).

Los diferentes mapas obtenidos utilizando la opción de rupturas naturales no son comparables entre sí, ya que cada índice de vegetación viene dado con un intervalo de valores diferente por lo que este método de clasificación tiene en cuenta los datos de ese índice en particular. Sin embargo, utilizando esta opción es posible visualizar gráficamente la variabilidad de la parcela con cada uno de los índices de vegetación (IV).

Los resultados de los mapas de vigor por hileras por cada vuelo y para cada parcela se muestran en el apartado 6.3.1 de resultados.

❖ **Obtención de los mapas de vigor continuo**

El proceso de obtención de mapas de vigor continuo se ha llevado a cabo para cada uno de los cuatro índices propuestos. La totalidad del proceso se ha diferenciado en tres fases, la primera de ellas en la obtención de los centroides de cada polígono con el valor de cada IV asociado, la segunda fase, la interpolación por medio del método geoestadístico Kriging y la tercera, la clasificación de las imágenes de IV continuo para la obtención de los mapas de vigor.

En primer lugar, se han calculado los centroides de los polígonos creados en la fase anterior. Las diferentes capas vectoriales resultantes, centroides, contienen el valor medio de cada índice de vegetación. Es decir, cada parcela consta de 4 capas de centroides, una por cada de índice de vegetación.

Con las diferentes capas de centroides creadas, se ha realizado el proceso de interpolación Kriging para cada índice de vegetación y por cada parcela. Cabe destacar que este proceso se ha realizado por partida doble ya que el número de vuelos efectuado han sido dos.

El método de interpolación empleado para obtener los mapas de vigor continuo ha sido el Kriging. Este método de interpolación es un método geoestadístico, por lo que para su implementación se ha desarrollado un script en el software estadístico R. Dicho método provee, a partir de una muestra de puntos, ya sean regular o irregularmente distribuidos, valores estimados de aquellos sitios donde no hay información, sin sesgo y con una varianza mínima conocida.

Los parámetros a tener en cuenta en el cálculo han sido el semivariograma teórico para la tendencia constante, primera tendencia y segunda tendencia. Tras observar los resultados se ha ajustado el semivariograma empírico al teórico por medio del modelo exponencial.

El script correspondiente al desarrollo del método de interpolación de Kriging se ha adjuntado en el Anexo 5.

Finalmente, tras la obtención del mapa de índice de vegetación continuo, se ha procedido a reclasificar cada uno de los resultados empleando el método de cortes naturales (Jenks).

❖ **Análisis y comparativa de las imágenes obtenidas con cada IV**

Una vez finalizado el cálculo de los índices de vegetación se ha analizado la correlación existente entre los diferentes índices de vegetación por cada vuelo y para cada parcela.

Para ello se han utilizado las imágenes de los IV recortadas con las zonas donde existe cultivo de vid. Estos valores de correlación se han calculado a partir de los valores de los diferentes IV obtenidos en los dos vuelos realizados con la cámara multiespectral de Parrot Sequoia.

Los resultados de la correlación mencionada se han ofrecido en el apartado de resultados.

El análisis de la varianza y desviación estándar de cada imagen de índice de vegetación ha hecho considerar que el índice óptimo para el estudio en este proyecto ha sido el RENDVI, por ser el que más información proporciona.

❖ **Información proporcionada a la Bodega**

Con la intención de una fácil apreciación y comprensión por parte del cliente de los productos obtenidos, en este caso el cliente ha sido la Bodega Juan Campiñún, se ha generado un archivo KML para el mapa de vigor por hileras y otro archivo KML para el mapa de vigor continuo.

Además, se ha optado por la creación de un visor online por medio de QGIS Cloud para la visualización de los resultados obtenidos en este estudio sobre el análisis o seguimiento del vigor de las viñas.

Estos productos a entregar al cliente mencionado se muestran en el apartado correspondiente a resultados.

Cabe destacar que el índice de vegetación seleccionado para la visualización tanto en los archivos KML descritos como en el visualizador online ha sido el RENDVI, ya que ha sido el índice que ha proporcionado una información adicional respecto a los demás IV.

5.4.2.2. Procesamiento de imágenes de la plataforma satelital Sentinel 2

❖ **Calcular los diferentes índices de vegetación**

Una vez finalizado el pre-proceso de remuestreo a 10m de las bandas que se compone la plataforma satelital Sentinel-2 y tras recortar cada banda por cada una de las cuatro parcelas de estudio, se calculan los cuatro índices de vegetación seleccionados en este trabajo.

Cabe reseñar que los cuatro índices de vegetación se han calculado para cada una de las parcelas a estudiar, es decir, para las parcelas A, B, C y D y para las imágenes capturadas por el sensor para el 18 de Junio, 18 de Julio, 28 de Julio y 17 de Agosto de 2017. El software empleado para el cálculo ha sido ENVI en su versión 5.3.

La visualización de los resultados ofrecidos por el software ENVI se ha efectuado por medio de otro software comercial como es ArcGIS.

❖ **Obtención de los mapas de vigor continuo**

La obtención de los mapas del vigor continuo de las parcelas a estudiar se ha desarrollado de una manera más simple en comparación con el proceso realizado para las imágenes u ortomosaicos ofrecidos por el RPAS y el sensor Parrot Sequoia.

La simplicidad de este proceso viene dada por la resolución espacial de la plataforma satelital Sentinel-2, que no permite discriminar entre píxeles hilera y píxeles entre-hileras. Es decir, esta plataforma cuenta con un tamaño de pixel de 10-20m, por lo que cada pixel tiene como nivel digital (ND) el valor de cada índice de vegetación calculado.

Antes de clasificar las imágenes de IV, se ha aplicado a cada parcela un buffer interior de 5m para eliminar los posibles píxeles mixtos. Este hecho se ha padecido en mayor medida, en aquellas parcelas donde su superficie no tiene un tamaño considerable. Llegando a la conclusión de que este tipo de análisis multiespectrales sobre cultivos, tiene una mayor utilidad en parcelas de gran extensión o en trabajos donde la escala de trabajo es mayor.

A continuación, se ha aplicado el algoritmo de cortes naturales (Jenks) para clasificar la imagen de zonas de vigor alto y zonas de vigor bajo. Esta premisa, tiene como objetivo comparar los resultados conseguidos por ambos sensores, siendo la metodología aplicada, idéntica para ambos casos.

5.5. COMPARATIVA DE RESULTADOS: PARROT SEQUOIA VS SENTINEL-2

La comparativa entre ambas metodologías se ha determinado mediante una matriz de confusión. A modo de definición, cabe reseñar que una matriz de confusión se obtiene al comparar una imagen clasificada con la información de verificación.

Como resultado se recoge los posibles conflictos de la imagen clasificada en forma de clases, la diagonal de la matriz, son los píxeles en los que se ha producido acuerdo entre ambas imágenes, mientras que los márgenes de la matriz, determinan aquellos píxeles que han sido erróneamente clasificados, es decir, asignados a otra categoría.

En el caso que atañe a este proyecto, las imágenes clasificadas empleadas han sido los mapas de vigor continuo reclasificados obtenidos por medio del sensor Parrot Sequoia. Por lo tanto, la información de verificación se han tomado como referencia las imágenes obtenidas desde la plataforma satelital Sentinel-2.

Cabe destacar que es de vital necesidad que ambas imágenes se encuentren clasificadas y de manera añadida, contengan el mismo tamaño de pixel. A modo de reseña, se puntualiza que las matrices de confusión se han calculado para los índices de vegetación NDVI y RENDVI.

A continuación se han expresado brevemente algunas medidas de fiabilidad o exactitud, derivadas de la matriz de confusión calculada.

La fiabilidad global (FG): Hace referencia al porcentaje de píxeles correctamente clasificados respecto al total de píxeles verificados.

Estadístico Kappa (k): Determina el grado de fiabilidad debida exclusivamente a la exactitud de la clasificación, prescindiendo de factores aleatorios (aciertos o acuerdos debidos al azar).

Error de omisión (Eo): Establece el porcentaje de píxeles que perteneciendo a una categoría *i* no fueron incluidos en ella.

Error de comisión (Ec): Refleja el porcentaje de píxeles que se incluyeron en una categoría *i*, perteneciendo realmente a otra.

Fiabilidad del productor (Fp): Indica la probabilidad de que los píxeles de una determinada clase *i*, realmente correspondan a dicha clase en la imagen clasificada.

Fiabilidad del usuario (Fu): Define la probabilidad de que los píxeles clasificados como pertenecientes a la clase *i*, representen realmente dicha clase en el terreno.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se muestran los resultados obtenidos en este trabajo, analizándose de manera objetiva con la finalidad de poner en conocimiento de la bodega Juan Campiñun la caracterización del actual vigor de algunas de sus parcelas.

Cabe destacar que para no masificar el apartado de resultados con cada uno de los diferentes índices empleados, por cada vuelo y por cada una de las dos metodologías analizadas, se ha optado por mostrar únicamente los resultados que ofrece el índice de vegetación RENDVI.

De manera añadida, partiendo de la base que la mayor correlación entre el vigor y la calidad de la uva se da en la etapa fenológica del envero, se ha determinado mostrar los resultados que corresponden al vuelo realizado el 29 de Julio de 2017. Se ha visto pertinente recalcar, que este año el cultivo ha tenido 15 días de adelanto.

6.1. SENSOR RGB: MDS Y ORTOMOSAICO

A partir de las imágenes del RPAS Phantom 4, se han generado la ortofotografía y el MDS de cada parcela de estudio que se muestran, por parcela, en la ilustración 47.

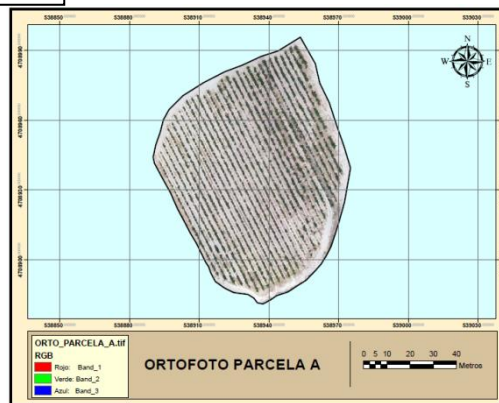
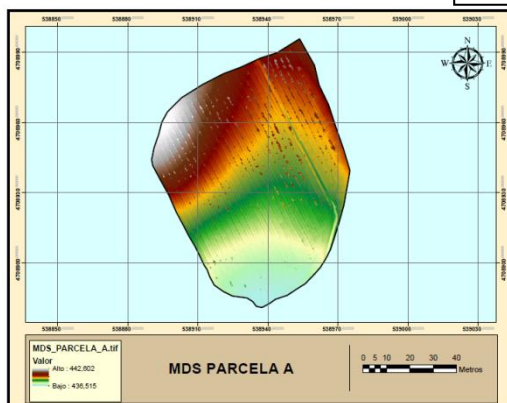
El objetivo de realizar este proceso ha sido tener un mayor conocimiento acerca de las parcelas de estudio.

A modo de resumen, cabe mencionar que al tratarse de una zona de cultivo las parcelas analizadas carecen de pendientes abruptas. Por lo general, presentan una topografía plana que favorece un crecimiento homogéneo del cultivo.

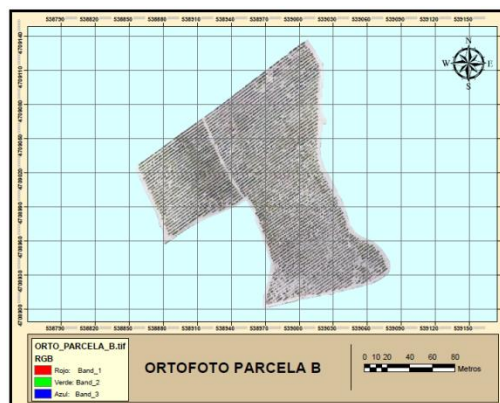
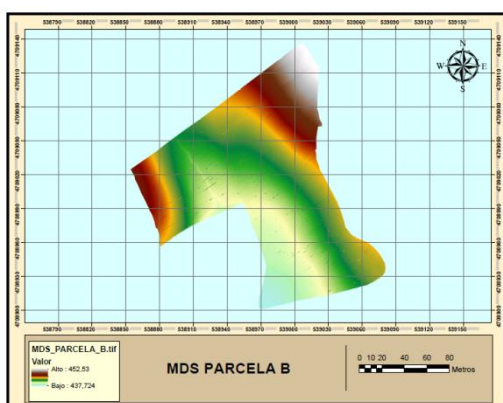
La parcela B, debido en gran medida, a su diferencia de tamaño con respecto a las otras 3 parcelas estudiadas, presenta un cierto desnivel, creando una parcela cóncava. Este hecho es susceptible de generar variaciones en el vigor del cultivo en determinadas localizaciones.

A continuación se muestran los resultados por parcela, recogiendo los resultados de todo el área de estudio en el Anexo 2.

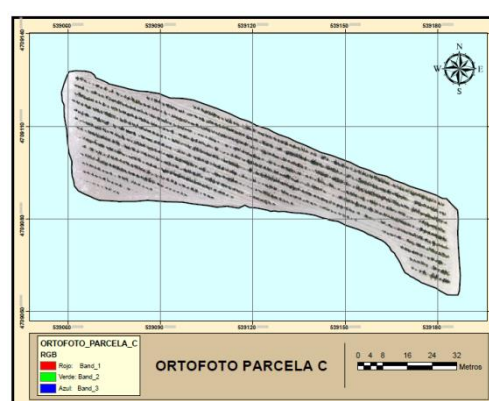
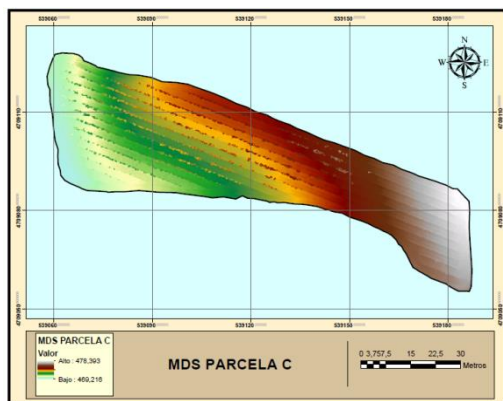
PARCELA A



PARCELA B



PARCELA C



PARCELA D

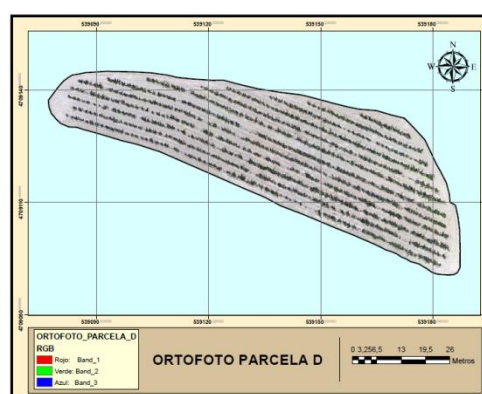
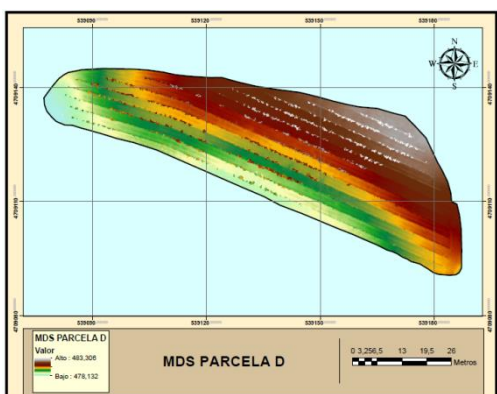


Ilustración 47. Se muestran los MDS y las ortofotos para la Parcela A, B, C y D. Fuente: Elaboración propia

6.2. ANÁLISIS DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN (IV): PARROT SEQUOIA

Una vez finalizado tanto el pre-proceso como el post-proceso de los datos adquiridos en campo, se han obtenido las imágenes de índice de vegetación (NDVI, GNDVI, RENDVI y TVI) para cada parcela y vuelo.

6.2.1. IMÁGENES DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN

El empleo de los diferentes índices de vegetación muestra, dentro de las lógicas discrepancias debido al empleo de diferentes bandas, una cierta similitud en el comportamiento o patrones de crecimiento de la vid.

Posteriormente, se ha aplicado una paleta de colores redimensionada, siendo el vigor bajo las tonalidades en color verde, un vigor mayor que el anterior se presentan en color amarillo, mientras que un vigor mayor o más intenso se muestra de color rojo. El software empleado para la aplicación de la paleta de colores ha sido otro software comercial como es ArcGIS.

Aunque para cada una de las parcelas de estudio se han calculado los cuatro índices de vegetación mencionados, en este apartado se han mostrado a modo de ejemplo, las imágenes de RENDVI de cada parcela, tanto para el vuelo del 29 de julio como para el del 17 de agosto.

Cabe destacar que el rango de valores obtenido para cada índice de vegetación no es representativo para una posterior comparación entre los diferentes índices.

VUELO DEL 29 DE JULIO DE 2017

PARCELA A

VUELO DEL 17 DE AGOSTO DE 2017

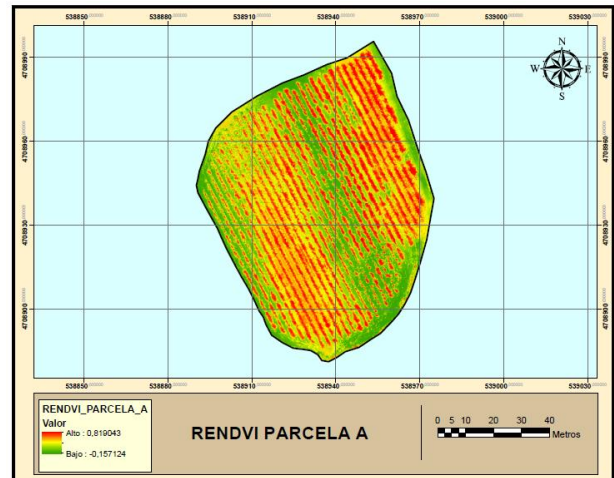
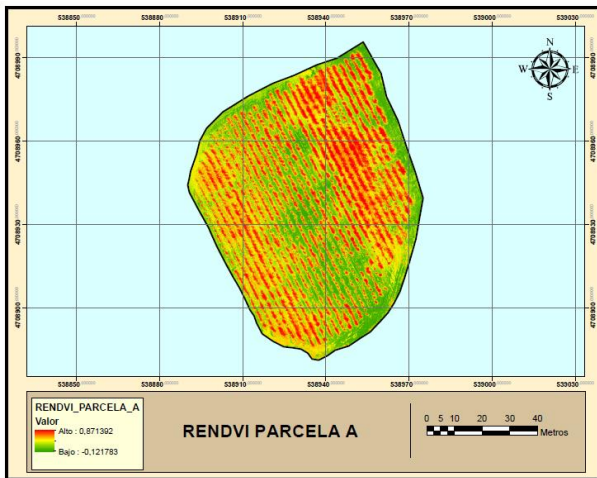


Ilustración 48. Se muestran las imágenes del IV RENDVI de la parcela A y para ambos vuelos. Fuente: Elaboración propia.

A simple vista se observa un patrón en cuanto a la zonificación del vigor se refiere. Las zonas de vigor alto se ubican en la parte noreste y suroeste de la parcela A, siendo la parte central la que menor vigor ofrece.

VUELO DEL 29 DE JULIO DE 2017

PARCELA B

VUELO DEL 17 DE AGOSTO DE 2017

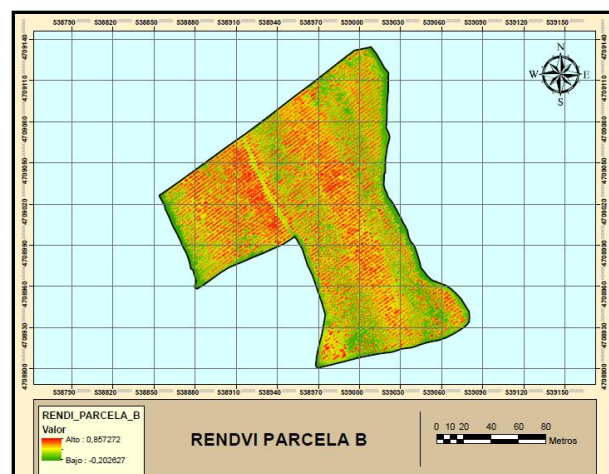
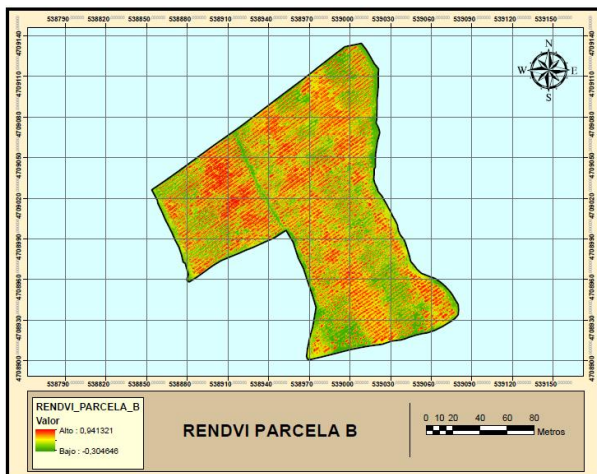


Ilustración 49. Se muestran las imágenes del IV RENDVI de la parcela B y para ambos vuelos. Fuente: Elaboración propia.

Por medio de la interpretación visual, se determina que los valores altos de vigor se concentran en ambos vuelos, en la parte central de la parcela (desde el norte hasta el sur). Además, se observan algunos reductos de vigor alto tanto en el sureste como en el suroeste.

VUELO DEL 29 DE JULIO DE 2017

PARCELA C

VUELO DEL 17 DE AGOSTO DE 2017

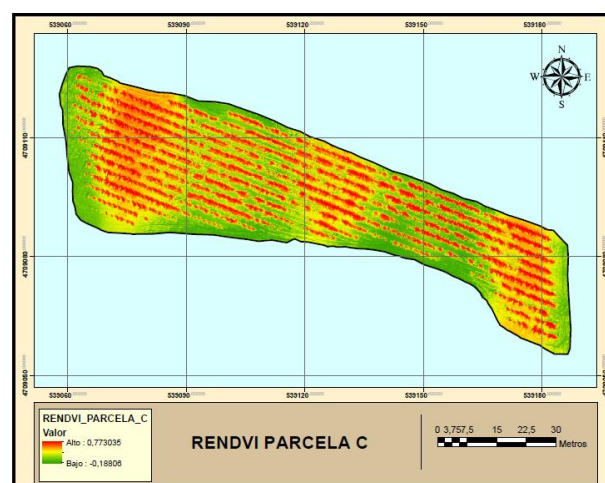
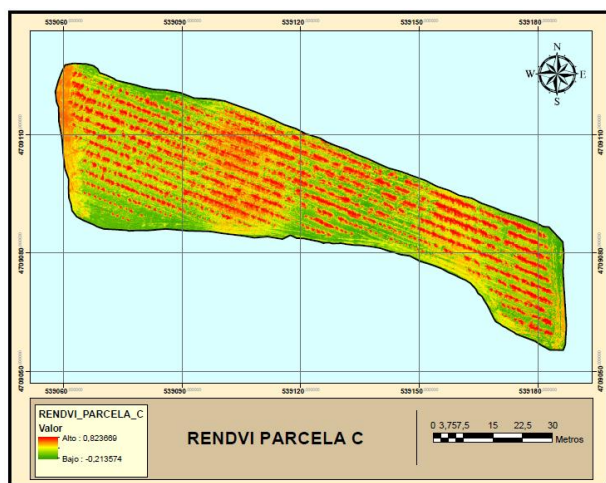


Ilustración 50. Se muestran las imágenes del IV RENDVI de la parcela C y para ambos vuelos. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la parcela C, se observa un cambio de tendencia en cuanto al vigor en el transcurso de un vuelo a otro. En líneas generales, la parcela presenta un alto vigor en casi la totalidad de la parcela, exceptuando la zona centro-este y sur.

VUELO DEL 29 DE JULIO DE 2017

PARCELA D

VUELO DEL 17 DE AGOSTO DE 2017

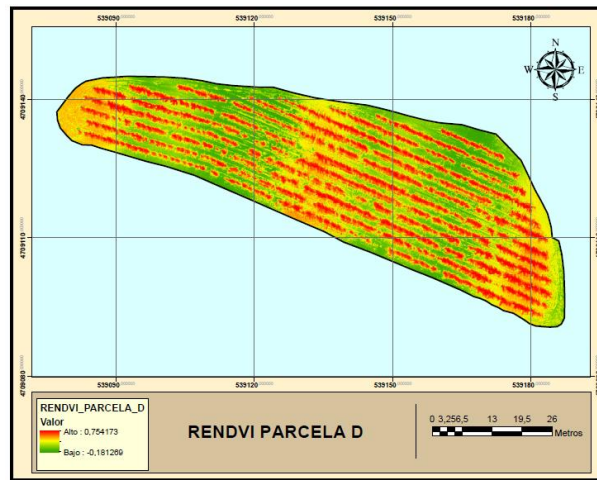
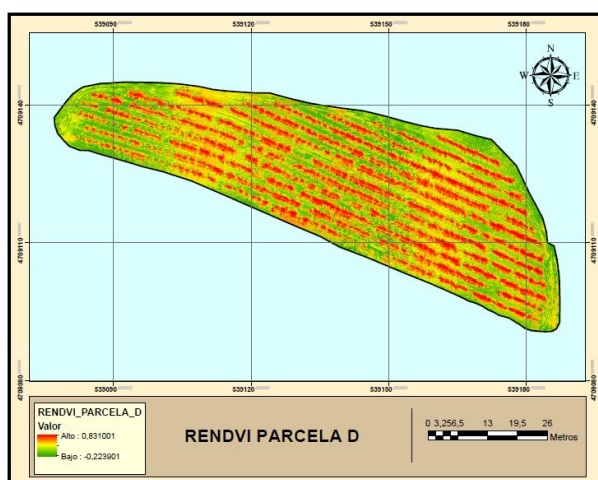


Ilustración 51. Se muestran las imágenes del IV RENDVI de la parcela D y para ambos vuelos. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se observa que la parcela D, a grandes rasgos presenta una variabilidad homogénea a lo que vigor se refiere, localizándose los vigores más altos en la parte central y oeste de la parcela.

6.2.2. CORRELACIÓN ENTRE ÍNDICES DE VEGETACIÓN

En la tabla 16 se muestran los datos de correlación entre los distintos índices de vegetación derivados de las imágenes Sequoia para cada parcela y vuelo.

VUELO DEL 29 DE JULIO DE 2017

PARCELA A				
CORRELACIÓN	NDVI	GNDVI	RENDVI	TVI
NDVI	1	0.9468	0.917	0.8885
GNDVI	0.9468	1	0.9034	0.8163
RENDVI	0.917	0.9034	1	0.7118
TVI	0.8885	0.8163	0.7118	1
PARCELA B				
CORRELACIÓN	NDVI	GNDVI	RENDVI	TVI
NDVI	1	0.9485	0.9102	0.8991
GNDVI	0.9485	1	0.8852	0.8285
RENDVI	0.9102	0.8852	1	0.709
TVI	0.8991	0.8285	0.709	1
PARCELA C				
CORRELACIÓN	NDVI	GNDVI	RENDVI	TVI
NDVI	1	0.9477	0.9076	0.9127
GNDVI	0.9477	1	0.8639	0.8359
RENDVI	0.9076	0.8639	1	0.7023
TVI	0.9127	0.8359	0.7023	1
PARCELA D				
CORRELACIÓN	NDVI	GNDVI	RENDVI	TVI
NDVI	1	0.9402	0.9091	0.8997
GNDVI	0.9402	1	0.8753	0.7968
RENDVI	0.9091	0.8753	1	0.6876
TVI	0.8997	0.7968	0.6876	1

VUELO DEL 17 DE AGOSTO DE 2017

PARCELA A				
CORRELACIÓN	NDVI	GNDVI	RENDVI	TVI
NDVI	1	0.9437	0.9288	0.8675
GNDVI	0.9437	1	0.9556	0.7315
RENDVI	0.9288	0.9556	1	0.6895
TVI	0.8675	0.7315	0.6895	1
PARCELA B				
CORRELACIÓN	NDVI	GNDVI	RENDVI	TVI
NDVI	1	0.9616	0.9416	0.8585
GNDVI	0.9616	1	0.9543	0.7592
RENDVI	0.9416	0.9543	1	0.7097
TVI	0.8585	0.7592	0.7097	1
PARCELA C				
CORRELACIÓN	NDVI	GNDVI	RENDVI	TVI
NDVI	1	0.9616	0.9416	0.8585
GNDVI	0.9616	1	0.9543	0.7592
RENDVI	0.9416	0.9543	1	0.7097
TVI	0.8585	0.7592	0.7097	1
PARCELA D				
CORRELACIÓN	NDVI	GNDVI	RENDVI	TVI
NDVI	1	0.9277	0.929	0.8087
GNDVI	0.9277	1	0.9509	0.5981
RENDVI	0.929	0.9509	1	0.5764
TVI	0.8087	0.5981	0.5764	1

Tabla 19. Se muestran las diferentes matrices de correlación para cada parcela y por cada vuelo.
Fuente: Elaboración propia

Tal y como se muestra en la tabla anterior, los índices NDVI y GNDVI tienen una correlación muy alta, por lo que en teoría ofrecen información similar. Por otra parte los índices RENDVI y TVI tienen una correlación menor por lo que puede decirse que son índices que están mostrando información añadida a los otros índices calculados.

6.2.3. ESTADÍSTICAS GENERALES DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN

Este tipo de análisis matemático-estadístico se ha llevado a cabo para establecer, en el caso de que lo hubiera, una similitud o patrón en los resultados obtenidos entre los dos vuelos realizados, o por el contrario, determinar las discrepancias existentes.

En la tabla 17 se han mostrado unas tablas donde se observan las estadísticas básicas tales como valor mínimo, medio, máximo y desviación estándar de cada uno de los cuatro índices de vegetación, para cada parcela y por cada vuelo.

VUELO DEL 29 DE JULIO DE 2017

PARCELA A				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1452	0.8228	0.5155	0.1221
GNDVI	0.2759	0.7866	0.5304	0.0941
RENDVI	0.0621	0.7323	0.4066	0.1199
TVI	-0.3929	11.2468	5.8954	1.6921
PARCELA B				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1333	0.8506	0.531	0.109
GNDVI	0.254	0.8017	0.5342	0.0884
RENDVI	0.046	0.7738	0.4169	0.1104
TVI	-0.8479	11.2271	5.693	1.7355
PARCELA C				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1959	0.6376	0.4052	0.0908
GNDVI	0.3207	0.6272	0.4585	0.0595
RENDVI	0.1245	0.5373	0.3127	0.08
TVI	1.5889	12.2315	7.0524	1.9462
PARCELA D				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1794	0.6225	0.4317	0.085
GNDVI	0.2794	0.6448	0.4773	0.0639
RENDVI	0.1216	0.5149	0.3309	0.0791
TVI	1.3294	11.8843	7.1758	1.9308

VUELO DEL 17 DE AGOSTO DE 2017

PARCELA A				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1579	0.8382	0.5044	0.1241
GNDVI	0.2946	0.7707	0.529	0.0933
RENDVI	0.0381	0.74	0.3716	0.1238
TVI	-2.6108	22.2779	10.0165	3.6615
PARCELA B				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1428	0.8255	0.5158	0.1069
GNDVI	0.2553	0.7928	0.5489	0.0874
RENDVI	0.029	0.7297	0.3759	0.1049
TVI	-3.4832	21.6111	9.5921	3.4566
PARCELA C				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1206	0.6629	0.4166	0.1041
GNDVI	0.2411	0.6325	0.4608	0.0715
RENDVI	0.0172	0.5444	0.2871	0.0983
TVI	-0.5214	19.6527	11.9858	3.5657
PARCELA D				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1694	0.6459	0.4368	0.09
GNDVI	0.2465	0.6102	0.4638	0.0644
RENDVI	0.0411	0.5322	0.3009	0.0877
TVI	-0.3658	20.6857	10.2541	3.8657

Tabla 17. Se muestran las diferentes estadísticas calculadas para los diferentes índices, parcelas y vuelos
Fuente: Elaboración propia.

De los resultados anteriores se deriva que se observa un incremento de los valores mínimos de IV, mientras que los máximos mantienen unos valores similares. Respecto a la media, las parcelas A y B presentan un aumento en valores para los índices TVI y RENDVI entre los vuelos de julio y agosto, mientras que los demás índices tienden a mantenerse. En cambio, en las parcelas C y D el índice RENDVI tiende a disminuir ligeramente, en detrimento del TVI que sufre un aumento en los valores.

En líneas generales, se puede establecer o determinar que no existe una gran diferencia en cuanto a los datos obtenidos tras efectuar ambos vuelos. Tal y como se ha mencionado, se ha observado un ligero aumento en los valores de los índices calculados para el segundo vuelo que se ha realizado el 17 de Agosto de 2017.

Por esta razón, se llega a la conclusión que para el cultivo de la vid, la realización del estudio multiespectral quedaría cubierto con un único análisis en la época fenológica del envero, siendo más que beneficioso la ejecución de otro vuelo multiespectral en épocas más tempranas del cultivo.

Esta conclusión podría verse afectada por cualquier inclemencia meteorológica o de otra índole que pudiera darse durante el desarrollo del cultivo.

6.3. MAPAS DE VIGOR

6.3.1. MAPAS DE VIGOR POR HILERAS (RECLASIFICADO SEGÚN VIGOR)

En las ilustraciones siguientes se muestran las imágenes de vigor por hileras obtenidas tras procesar las imágenes de IV obtenidas para cada parcela y vuelo. Aunque estas imágenes se han obtenido para todos los índices, en este apartado se han mostrado únicamente los mapas de vigor por hileras derivados de las imágenes RENDVI.

El análisis de las parcelas de estudio debido a la estructura propia del cultivo de la vid, se trata de un análisis focalizado en una vegetación con una disposición en hileras. Posteriormente, tras la reestructuración mencionada, se ha reclasificado el rango de valores en dos clases (Vigor Bajo y Vigor Alto). Para establecer este nuevo rango de valores se ha empleado el método de cortes naturales (Jenks).

Es necesario recordar que al utilizar las rupturas naturales para establecer los rangos de las clases, no es posible comparar los diferentes mapas entre sí, ya que el objetivo de utilizar esta opción fue optimizar la visualización de la variabilidad del cultivo adaptándose a los datos en cada uno de los casos.

VUELO DEL 29 DE JULIO DE 2017

PARCELA A

VUELO DEL 17 DE AGOSTO DE 2017

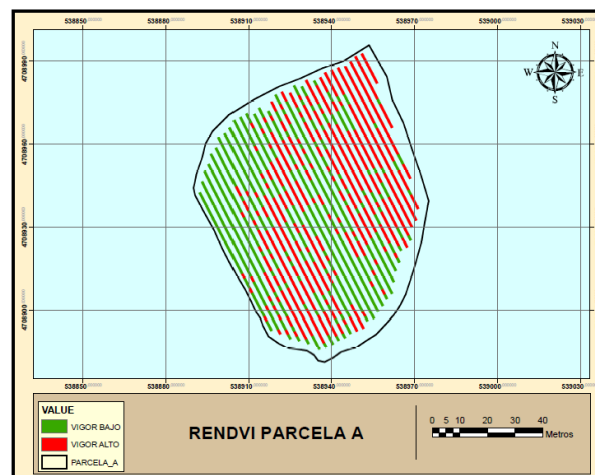
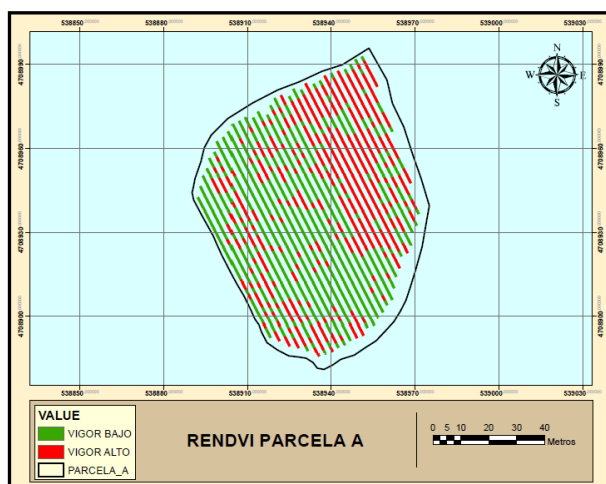


Ilustración 52. Se muestra el vigor en hileras reclasificado para la parcela A. Fuente: Elaboración propia.

La zonificación del vigor alto y bajo, presenta un patrón en cuanto a la localización, siendo la región noroeste y sur este de la parcela la que mayor vigor ofrecen. Por otra parte, la parte tanto central como noroeste son las que mayor deficiencia muestran.

VUELO DEL 29 DE JULIO DE 2017

PARCELA B

VUELO DEL 17 DE AGOSTO DE 2017

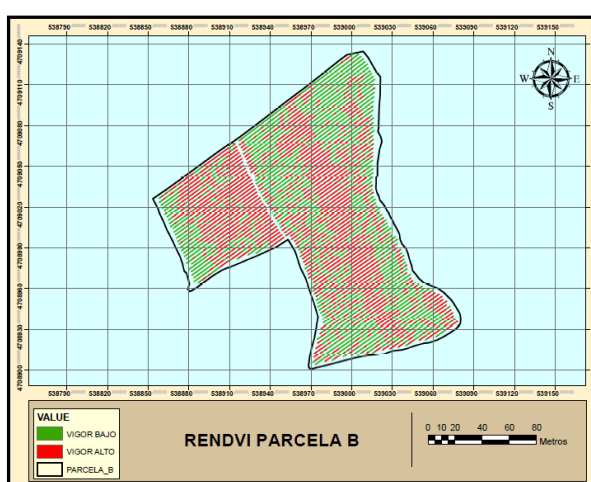
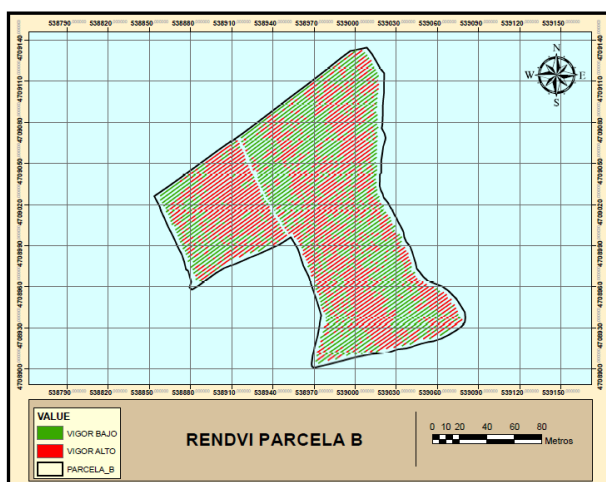


Ilustración 53. Se muestra el vigor en hileras reclasificado para la parcela B. Fuente: Elaboración propia.

Por medio de la interpretación visual, se determina que los valores altos de vigor se concentran en ambos vuelos, en la parte central de la parcela (desde el norte hasta el sur). Por otra parte la región centro-oeste de la parcela y la sureste muestran también un alto vigor. Por el contrario, la región noreste y sureste presentan ciertas carencias en lo que a vigor se refiere.

VUELO DEL 29 DE JULIO DE 2017

PARCELA C

VUELO DEL 17 DE AGOSTO DE 2017

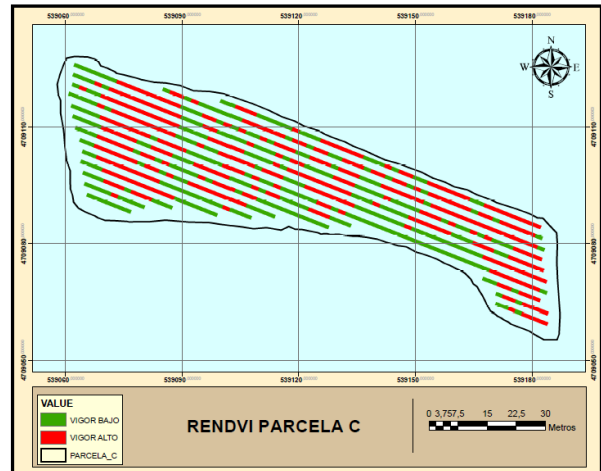
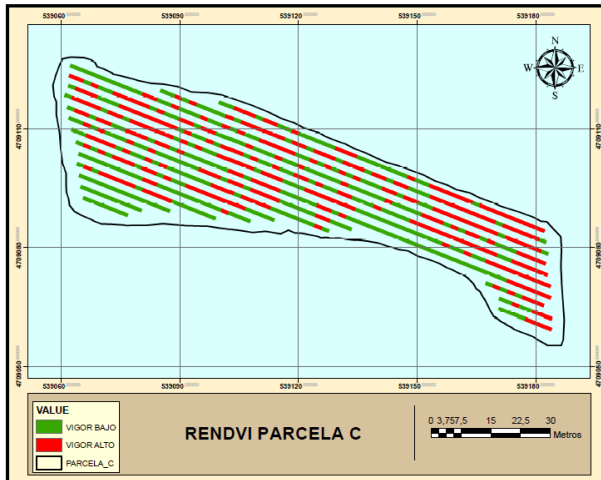


Ilustración 54. Se muestra el vigor en hileras reclasificado para la parcela C. Fuente: Elaboración propia.

En lo que respecta a la parcela C, se observa al igual que para las anteriores parcelas, resultados muy similares para ambos vuelos. El vigor alto se concentra en la zona oeste de la parcela, observándose ciertos reductos en la zona centro y este.

VUELO DEL 29 DE JULIO DE 2017

PARCELA D

VUELO DEL 17 DE AGOSTO DE 2017

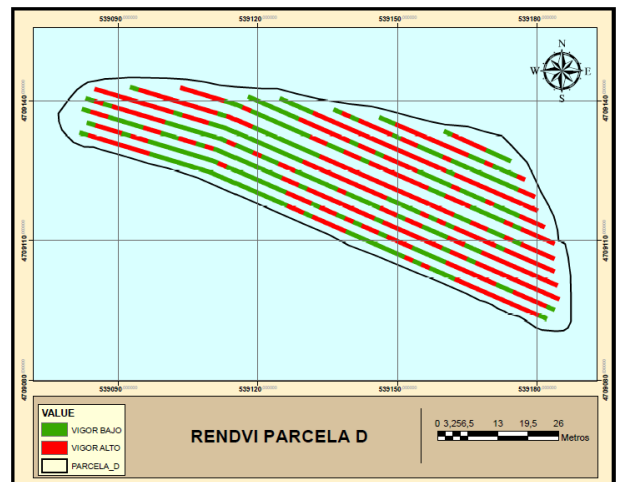
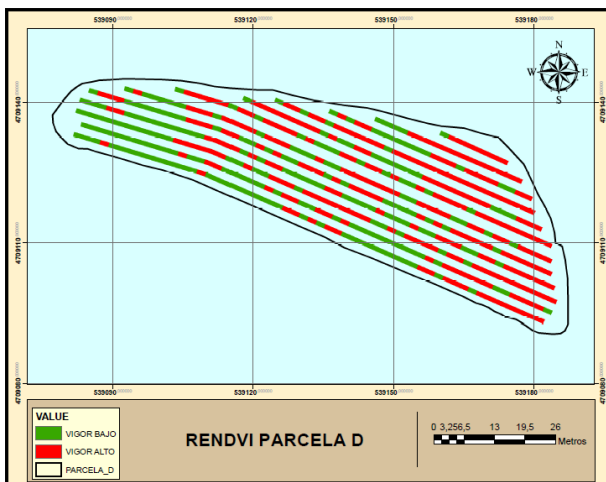


Ilustración 55. Se muestra el vigor en hileras reclasificado para la parcela D. Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar con el análisis visual, se observa que la parcela D, presenta los mayores déficit de vigor en la zona centro-oeste de la parcela, mostrando en el resto un vigor bastante homogéneo.

A modo de resumen, cabe destacar la correlación existente entre el vigor y la pendiente de las parcelas. En los casos de leve pendiente el vigor disminuye, mientras que en zonas llanas, el vigor aumenta considerablemente.

Tras finalizar el análisis del vigor por hileras de las cuatro parcelas de estudio, tal y como se ha mencionado en el encabezado del apartado presente, se ha pretendido exponer los resultados obtenidos de una manera gráfica, por medio de un archivo con formato KML y un visor online con acceso gratuito desde pc o Smartphone

La finalidad de la realización de este procedimiento trata de una interacción entre los técnicos encargados de efectuar este tipo de análisis y los agricultores.

El archivo KML es un formato georreferenciado que permite la visualización de las capas dentro del entorno gráfico de Google Earth.

De manera añadida y con el mismo objetivo se ha pretendido ofrecer al cliente en cuestión, Bodegas Juan Campiñún, un visualizador online donde se representan los resultados obtenidos.

Este visualizador se ha creado por medio de QGIS Cloud que permite adosar en sus servidores los resultados obtenidos de forma online y totalmente gratuita.

El producto ofrecido al cliente trata de un enlace web vía URL, donde el mapa de vigor se encuentra alojado en unos servidores que permite al agricultor observar el vigor de su cultivo desde su propio Smartphone, siendo la única objeción disponer de internet en el teléfono móvil.

Este hecho implica una mejora sustancial para el cliente final, en este caso el agricultor, que puede disponer de una información técnica y precisa del estado de su cultivo a pie de parcela.

El enlace web comentado queda a la disposición del cliente por medio de la siguiente URL: http://qgiscloud.com/IkerCaseras/RENDVI_HILERAS/

6.3.2. MAPAS DE VIGOR CONTINUO (RECLASIFICADO SEGÚN VIGOR)

Los mapas de vigor continuo difieren respecto a los anteriores observados, en gran medida por la exactitud de los resultados. Es decir, los mapas de vigor en hilera permiten observar el vigor prácticamente a nivel de cepa (en este caso se ha calculado el valor promedio para $2m^2$), mientras que por medio de los mapas de vigor continuo, los resultados toman un cariz más general. Máxime teniendo en cuenta el tipo de cultivo a analizar, que tiene una estructura en hileras y que se asigna valores de vigor a zonas de suelo desnudo

A pesar de lo expuesto, los mapas de vigor continuo son de gran validez para el agricultor en este tipo de cultivos, ya que no siempre es necesario un grado de exactitud tan preciso.

Otra de las razones de la importancia de los mapas de vigor continuo, es el coste económico y de tiempo que se requiere para la realización de la vendimia selectiva, siendo más eficiente vendimiar por zonas según el vigor, y no cepa a cepa.

Una vez obtenidos los raster de vigor continuo, al igual que en el caso de los mapas de vigor por hileras, se ha efectuado una reclasificación empleando la metodología de cortes naturales (Jenks) en dos clases, obteniendo el vigor bajo y el vigor alto.

A pesar de que se ha calculado el mapa de vigor continuo para cada parcela y vuelo considerado los cuatro índices de vegetación seleccionados en este trabajo, se muestra a modo de ejemplo únicamente los mapas de RENDVI continuos, para cada parcela y vuelo.

VUELO DEL 29 DE JULIO DE 2017

PARCELA A

VUELO DEL 17 DE AGOSTO DE 2017

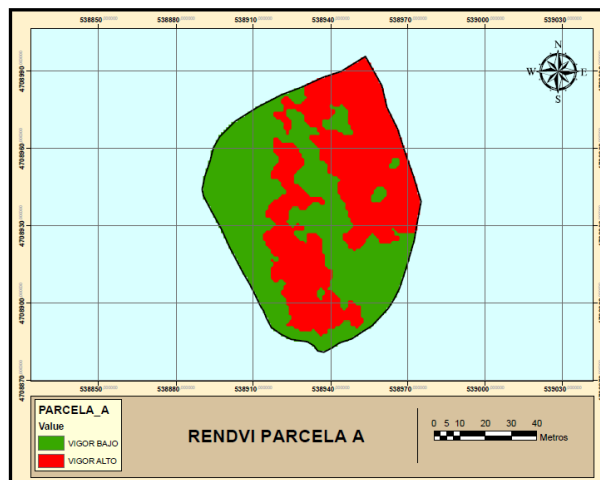
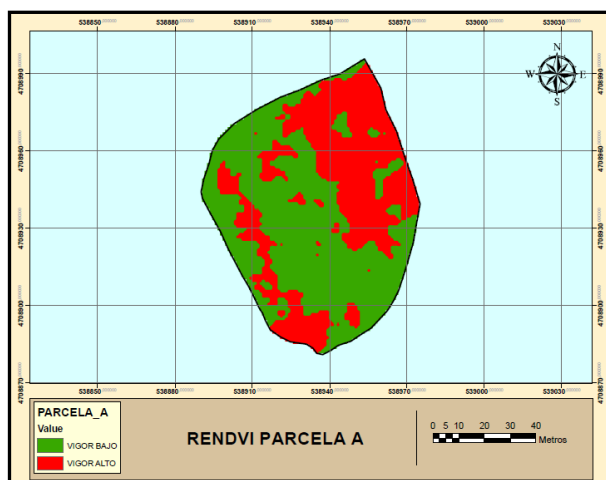


Ilustración 56. Se muestra el vigor en hileras reclasificado para la parcela A. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la parcela A para ambos vuelos ofrecen una zonificación de vigor alto y bajo muy similar. La parcela A presenta un vigor alto en la región noreste y sureste de la parcela. Cabe destacar que la mayor pendiente dentro de la parcela, se congrega en la parte noroeste, casualmente donde el vigor presenta unos valores más bajos.

VUELO DEL 29 DE JULIO DE 2017

PARCELA B

VUELO DEL 17 DE AGOSTO DE 2017

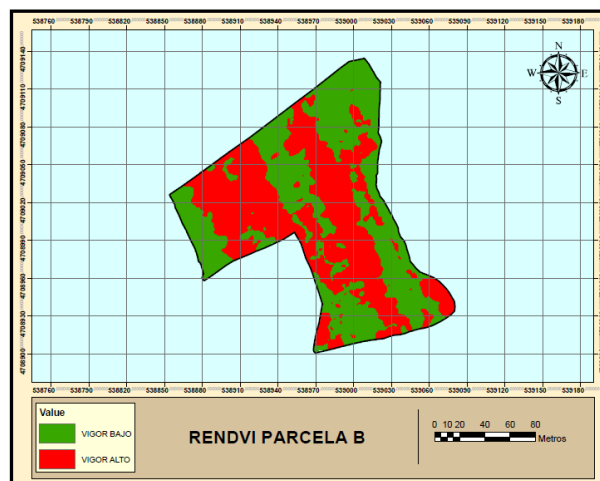
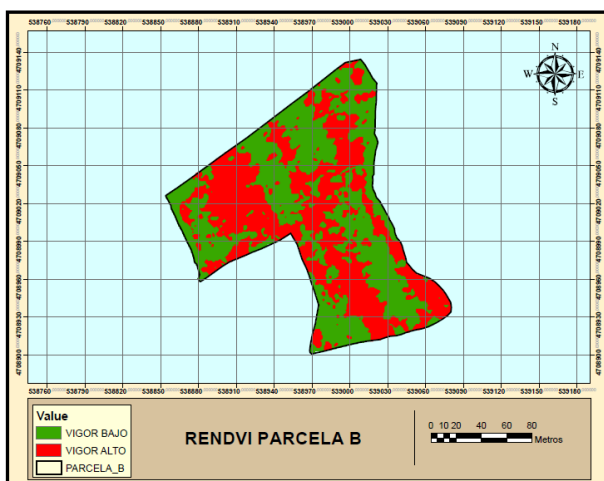


Ilustración 57. Se muestra el vigor en hileras reclasificado para la parcela B. Fuente: Elaboración propia.

Al igual que con la parcela anterior, los resultados para ambos vuelos ofrecen pocas variaciones. En líneas generales, el vigor alto se concentra en la parte noreste y en la parte central de la parcela, observándose ciertos reducidos tanto en el sureste o como suroeste. Otro concepto a remarcar es la correlación entre el vigor bajo y la pendiente, ubicándose ambos parámetros en la parte noreste y noroeste de la parcela.

VUELO DEL 29 DE JULIO DE 2017

PARCELA C

VUELO DEL 17 DE AGOSTO DE 2017

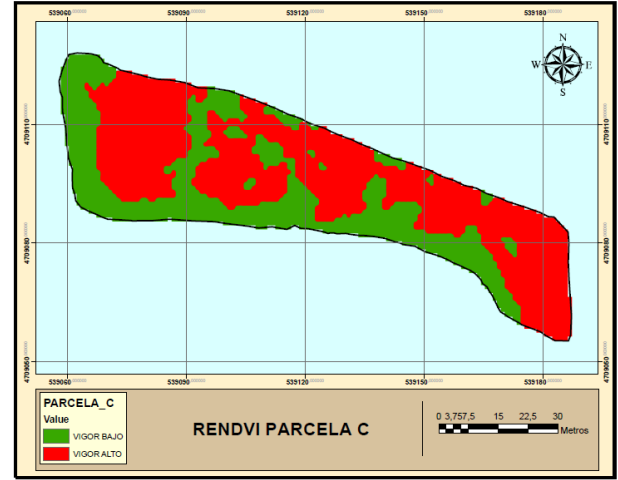
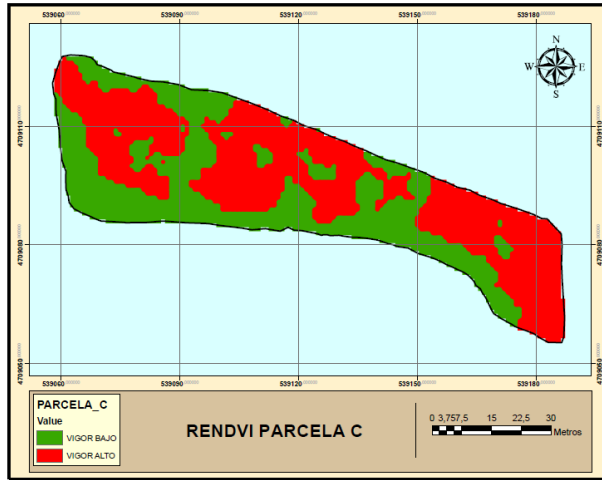


Ilustración 58. Se muestra el vigor en hileras reclasificado para la parcela C. Fuente: Elaboración propia.

Lo que respecta a la zonificación del vigor alto y bajo en la parcela C, se determina que las zonas con un mayor vigor se ubican en la parte centro-este y centro-oeste de la parcela. Cabe remarcar que esta parcela no tiene ningún patrón, en contra de lo que se ha percibido en las dos anteriores.

VUELO DEL 29 DE JULIO DE 2017

PARCELA D

VUELO DEL 17 DE AGOSTO DE 2017

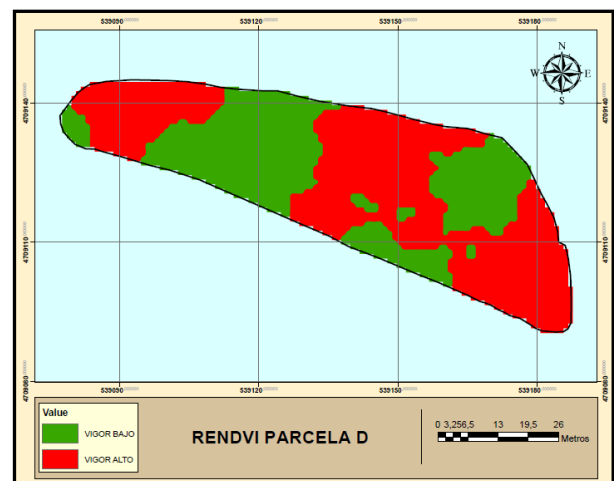
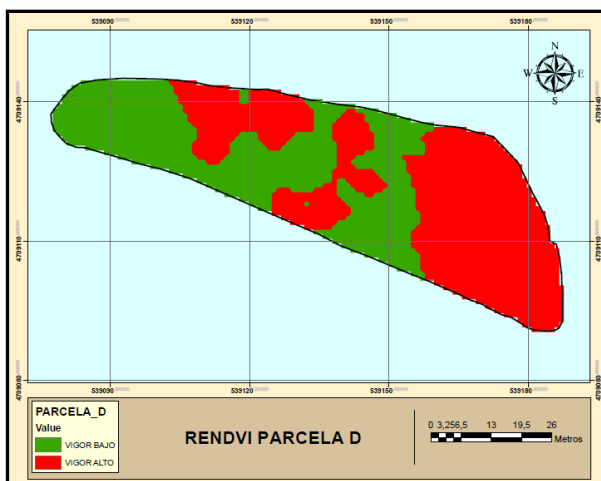


Ilustración 59. Se muestra el vigor en hileras reclasificado para la parcela D. Fuente: Elaboración propia.

Tal y como sucede en la parcela anterior, no existe un patrón claro respecto al vigor. A grandes rasgos, el vigor alto se localiza en la parte centro y de manera más generalizada en la región este de la parcela.

Una vez finalizado el análisis pormenorizado de cada una de las parcelas de los mapas de vigor continuo, al igual que para el caso de los mapas de vigor por hileras se ha optado por exponer los productos anteriormente mostrados de una manera gráfica mediante un archivo con formato KML y un visor web con acceso gratuito.

La finalidad de la realización de la muestra gráfica al cliente, tiene como objetivo la interacción entre los técnicos encargados de efectuar este tipo de análisis y los agricultores, normalmente reacios a los posibles cambios en sus cultivos.

El resultado ofrecido al cliente trata de un enlace web vía URL, donde el mapa de vigor se encuentra alojado en unos servidores que permite al agricultor observar el vigor de su cultivo desde su propio Smartphone, siendo la única objeción disponer de internet en el teléfono móvil.

Este hecho implica una mejora sustancial para el cliente final, en este caso la Bodega Juan Campiñún, que puede disponer de una información técnica y precisa del estado de su cultivo a pie de parcela.

El enlace web comentado queda a la disposición del cliente por medio de la siguiente URL: http://ggiscloud.com/IkerCaseras/RENDVI_CONTINUO

6.4. ANÁLISIS DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN (IV): SENTINEL 2A

Una vez finalizado tanto el pre-proceso como el post-proceso de los datos adquiridos de la plataforma satelital Sentinel-2, se han obtenido las imágenes de índice de vegetación (NDVI, GNDVI, RENDVI y TVI) para cada parcela y vuelo.

A continuación se han nombrado brevemente los diferentes análisis efectuados a las imágenes de la plataforma satelital Sentinel-2 para los días 18 de Junio, 18 de Julio, 28 de Julio y 17 de Agosto.

6.4.1. ESTADÍSTICAS GENERALES DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN (IV)

En la tabla 18 se muestran los valores de las estadísticas básicas para las imágenes de los índices de vegetación de cada una de las parcelas de estudio a partir de las imágenes Sentinel-2, con el objeto de analizar la evolución de los diferentes índices de vegetación a lo largo de los meses de junio, julio y agosto.

Señalar que un factor importante para la ejecución de este seguimiento ha sido la cantidad de imágenes satelitales disponibles durante las diferentes etapas fenológicas del cultivo. Tal y como se ha mencionado, la resolución temporal o periodo de revisita de los satélites Sentinel-2 es, actualmente de 10 días. Con la entrada en órbita de su plataforma homóloga, Sentinel-2B, este periodo se verá reducido a la mitad.

Este hecho sin duda, remarca el claro beneficio del uso de plataformas satelitales para este tipo de estudio. Máxime, si se parte de una plataforma donde los datos capturados son totalmente gratuitos.

Por contrapunto, se ha mencionado anteriormente el inconveniente de la resolución espacial, sobretudo en estudios donde las parcelas cuentan con un tamaño reducido.

VUELO DE 18 DE JUNIO DE 2017				
PARCELA A				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1548	0.2898	0.2001	0.0273
GNDVI	0.2305	0.3534	0.2911	0.0302
RENDVI	0.0069	0.1277	0.0749	0.0315
TVI	0.498	7.186	3.9294	1.514
PARCELA B				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1521	0.3186	0.2375	0.0335
GNDVI	0.2158	0.3782	0.3112	0.0349
RENDVI	0.054	0.1623	0.1079	0.012
TVI	1.506	9.004	5.2434	1.1538
PARCELA C				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1445	0.2353	0.1837	0.0217
GNDVI	0.2252	0.3167	0.2609	0.0203
RENDVI	0.0525	0.123	0.0731	0.0172
TVI	-0.486	5.586	2.6968	1.8272
PARCELA D				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1529	0.2104	0.1864	0.0192
GNDVI	0.2201	0.294	0.2666	0.0217
RENDVI	0.065	0.1052	0.0874	0.0131
TVI	0.276	5.546	3.2621	1.4708

VUELO DE 18 DE JULIO DE 2017				
PARCELA A				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1382	0.2896	0.2118	0.0377
GNDVI	0.1848	0.3525	0.2707	0.0382
RENDVI	0.06861	0.1404	0.1	0.0203
TVI	3.46	9.18	6.3232	1.4629
PARCELA B				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1495	0.363	0.2577	0.0394
GNDVI	0.1768	0.4086	0.3084	0.04271
RENDVI	0.0677	0.192	0.134	0.0235
TVI	3.766	10.698	7.6299	1.2365
PARCELA C				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1352	0.2099	0.1703	0.0177
GNDVI	0.1596	0.2632	0.226	0.0221
RENDVI	0.053	0.116	0.0782	0.0215
TVI	-0.936	6.818	3.732	1.8839
PARCELA D				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1547	0.2046	0.1794	0.0173
GNDVI	0.1835	0.2545	0.2275	0.0227
RENDVI	0.0681	0.1279	0.0892	0.0204
TVI	0.844	6.924	4.0144	1.9878

VUELO DE 28 DE JULIO DE 2017				
PARCELA A				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1531	0.312	0.2238	0.0381
GNDVI	0.2131	0.3796	0.3008	0.0386
RENDVI	0.0778	0.01427	0.1018	0.0201
TVI	3.038	9.686	6.1905	1.5145
PARCELA B				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1382	0.366	0.2648	0.0396
GNDVI	0.2079	0.4179	0.3344	0.0401
RENDVI	0.0588	0.1874	0.1289	0.0232
TVI	1.7	10.748	7.0214	1.4619
PARCELA C				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1189	0.2291	0.1736	0.0214
GNDVI	0.2015	0.3054	0.2499	0.0201
RENDVI	0.0601	0.108	0.0817	0.0172
TVI	-3.318	7.63	3.017	1.9363
PARCELA D				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.147	0.2072	0.185	0.0191
GNDVI	0.2275	0.2835	0.2588	0.0185
RENDVI	0.0585	0.1128	0.0828	0.0167
TVI	0.942	5.762	4.3083	1.1132

VUELO DE 17 DE AGOSTO DE 2017				
PARCELA A				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1344	0.3055	0.2263	0.0398
GNDVI	0.2337	0.3844	0.3101	0.0408
RENDVI	0.06848	0.1407	0.1021	0.0196
TVI	2.644	8.042	5.5797	1.3227
PARCELA B				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1383	0.3773	0.269	0.0416
GNDVI	0.2084	0.4362	0.3426	0.0415
RENDVI	0.0604	0.1881	0.128	0.0248
TVI	2.038	9.12	6.1867	1.2758
PARCELA C				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.108	0.2082	0.1712	0.0223
GNDVI	0.208	0.2846	0.2474	0.0191
RENDVI	0.0534	0.0974	0.0734	0.0102
TVI	-0.956	5.696	3.0774	1.7799
PARCELA D				
	MIN	MAX	MEDIA	DESV. EST
NDVI	0.1449	0.2163	0.1843	0.0209
GNDVI	0.2325	0.3005	0.2636	0.0201
RENDVI	0.0417	0.1034	0.0731	0.0248
TVI	0.892	5.722	3.2084	1.4001

Tabla 20. Se muestran las estadísticas básicas calculadas para cada una de las parcelas y por cada uno de los diferentes índices. Fuente: Elaboración propia.

Observándose los resultados mostrados en la tabla 18, se determina un aumento entre cada una de las fechas de los valores máximos para los índices NDVI y GNDVI, mientras que en los índices RENDVI y TVI, el aumento se establece en los valores mínimos. Los valores medios se incrementan en líneas generales a lo largo del tiempo para cada uno de los diferentes índices.

6.4.2. TENDENCIA DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN (IV)

Una vez observados los diferentes cálculos realizados, se ha optado por observar el seguimiento de cada uno de los cuatro índices NDVI, GNDVI, RENDVI y TVI. Dicho seguimiento se ha llevado a cabo, graficando la variable estadística de la media a lo largo de las cuatro fechas de las que se cuenta con datos.

Cabe reseñar, que con la finalidad de observar la tendencia de una manera comparativa para los diferentes índices de vegetación empleados, se ha optado por superponer los 4 índices en un mismo gráfico.

Debido a la diferente manera de operar de cada uno de los índices de vegetación (Véase apartado 1.1.7), ha impedido efectuar el anhelo inicial de la comparativa entre los cuatro índices. Es por ello que se ha realizado la comparativa para los índices NDVI, GNDVI y RENDVI que se encuentran en un rango de valores aproximado. Por otra parte se ha graficado de manera individual el otro índice introducido en el análisis, TVI.

Finalmente se ha pretendido analizar los resultados conseguidos de manera concreta y detallada para cada una de las parcelas a estudiar, observándose una más que significativa similitud en la tendencia seguida indistintamente de la parcela.

PARCELA A

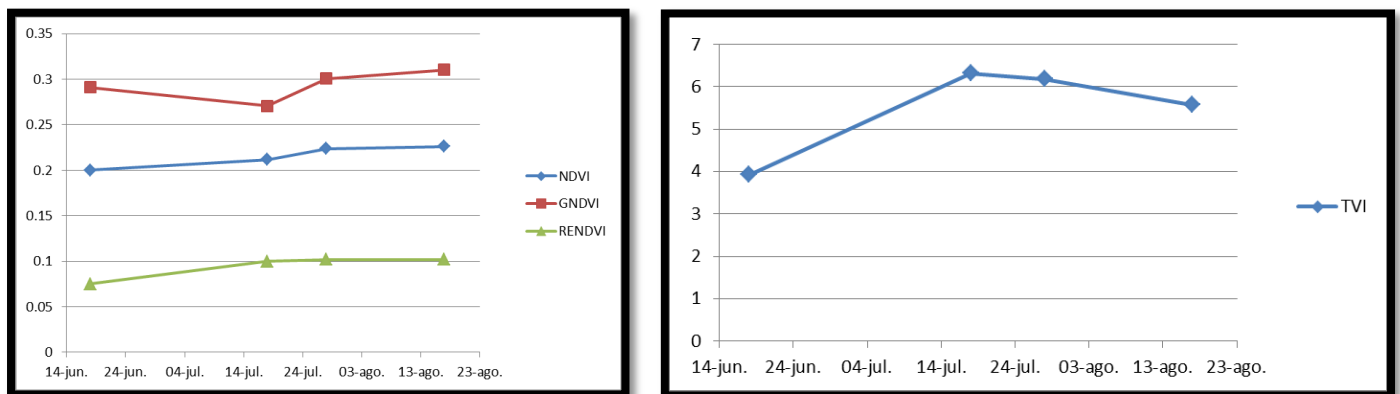


Ilustración 60. Se muestra la tendencia seguida la parcela A para los diferentes IV. Fuente: Elaboración propia.

De manera visual se puede constatar el incremento del valor medio de los índices a lo largo del tiempo. Hablando en términos generales, los índices NDVI, GNDVI y RENDVI sufren un incremento progresivo de los valores medios.

Finalmente, queda puntualizar el estancamiento que se produce en términos de valores medios, entre las fechas 28 de Julio y 17 de Agosto. Por lo que se deduce cuales debieran ser los tiempos adecuados para la toma de datos con la finalidad de determinar la variabilidad en los valores de vigor de la parcela.

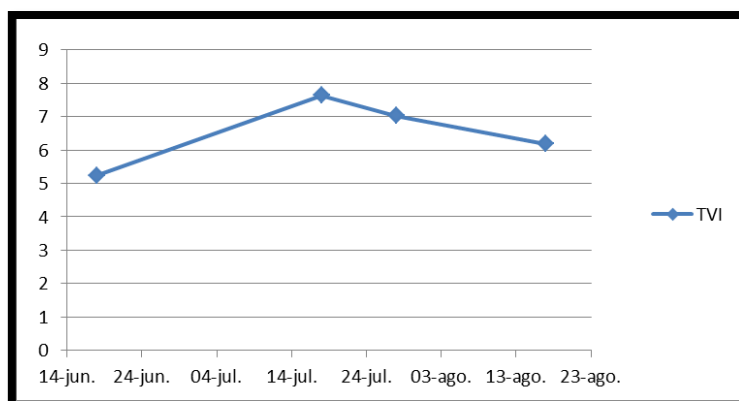
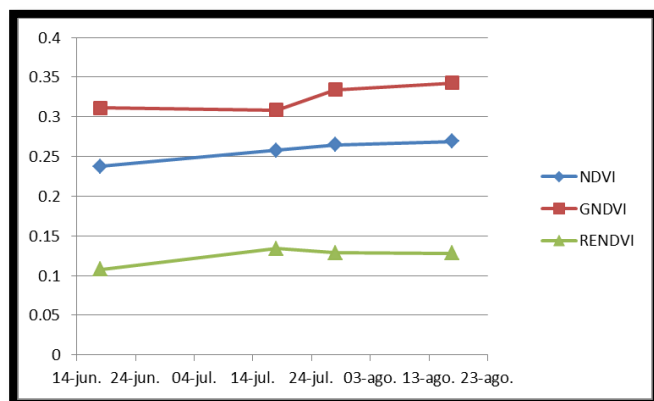
PARCELA B

Ilustración 61. Se muestra la tendencia seguida la parcela B para los diferentes IV Fuente: Elaboración propia.

Los valores medios de cada índice de vegetación presentan un aumento paulatino en los índices NDVI, GNDVI y RENDVI.

Al igual que en la parcela A, los datos ofrecidos para las fechas 28 de julio y 17 de agosto difieren muy poco. Este hecho refuerza la hipótesis de la carencia de necesidad de monitorear este tipo de cultivo de manera tan continua en ese intervalo de tiempo, que casualmente, coincide con el verano.

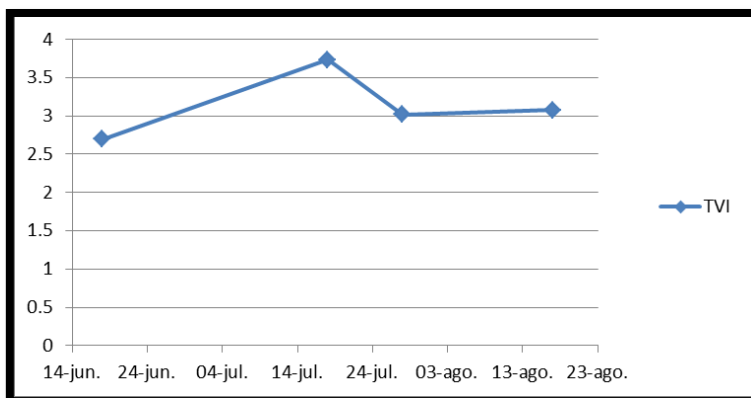
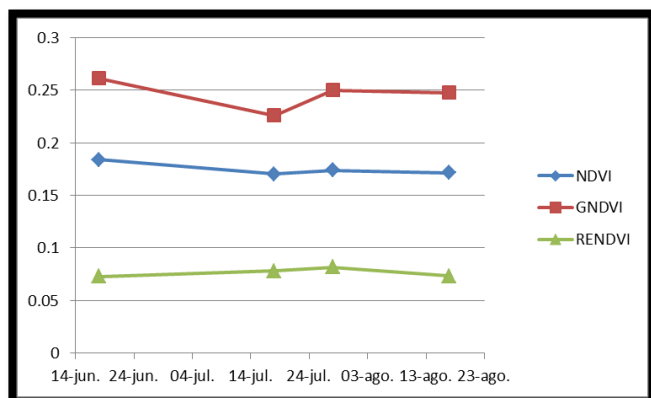
PARCELA C

Ilustración 62. Se muestra la tendencia seguida la parcela C para los diferentes IV. Fuente: Elaboración propia.

Los gráficos calculados a partir de los valores medios de cada índice de vegetación arrojan unas tendencias relativamente similares a las dos parcelas anteriormente detalladas.

A modo de conclusión, se aporta la idea previamente precisada para las parcelas A y B. La notoria diferencia respecto a las susodichas, ha sido la tendencia lineal que han presentado los diferentes índices de vegetación, siendo los rangos o intervalos de los valores medios más estrechos que en casos anteriores.

PARCELA D

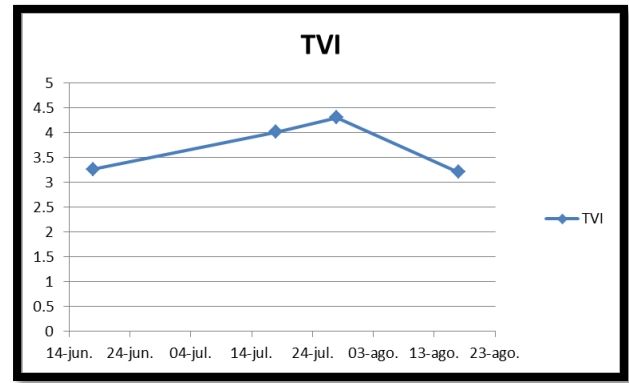
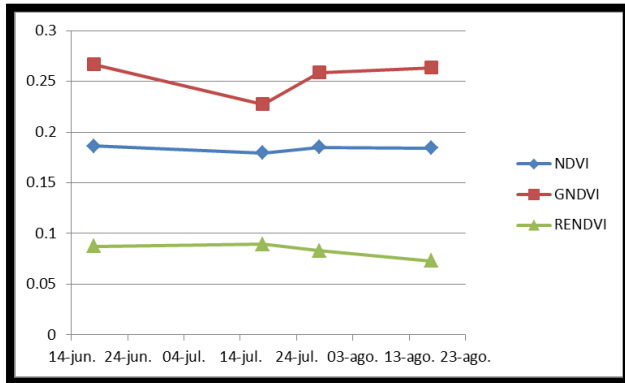


Ilustración 63. Se muestra la tendencia seguida la parcela D para los diferentes IV. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la tendencia obtenida de los diferentes índices para la parcela D muestra a grandes rasgos, una tendencia lineal de los datos, tal y como se ha visto en la parcela C. En este caso los índices que ofrecen una mayor disparidad en la tendencia son el GNDVI y TVI.

6.5. MAPAS DE VIGOR: SENTINEL-2

Como en apartados anteriores, se muestran a continuación las imágenes RENDVI obtenidas para cada parcela a partir de las imágenes Sentinel-2.

Con la finalidad de materializar la comparativa con los resultados ofrecidos por el sensor Parrot Sequoia, se han empleado los productos resultantes a las fechas 28 de julio y 17 de agosto de 2017 obtenidas para el sensor MSI.

Debido a la resolución espacial de 10-20m con la que trabaja el sensor MSI, a bordo de la plataforma, no ha sido necesario realizar el proceso de interpolación desempeñado con el sensor Parrot Sequoia.

Cabe reseñar que en el apartado de anexos, concretamente en el **Anexo 7**, que corresponde a los mapas de vigor para los datos de Sentinel-2, se han introducido todos aquellos resultados obtenidos para las cuatro fechas de los que se han adquirido datos.

6.5.1. MAPAS DE VIGOR CONTINUO (RECLASIFICADO SEGÚN VIGOR)

En las ilustraciones siguientes se muestran los mapas de vigor generados a partir del índice de vegetación RENDVI derivado de las imágenes Sentinel-2 en cada parcela de estudio.

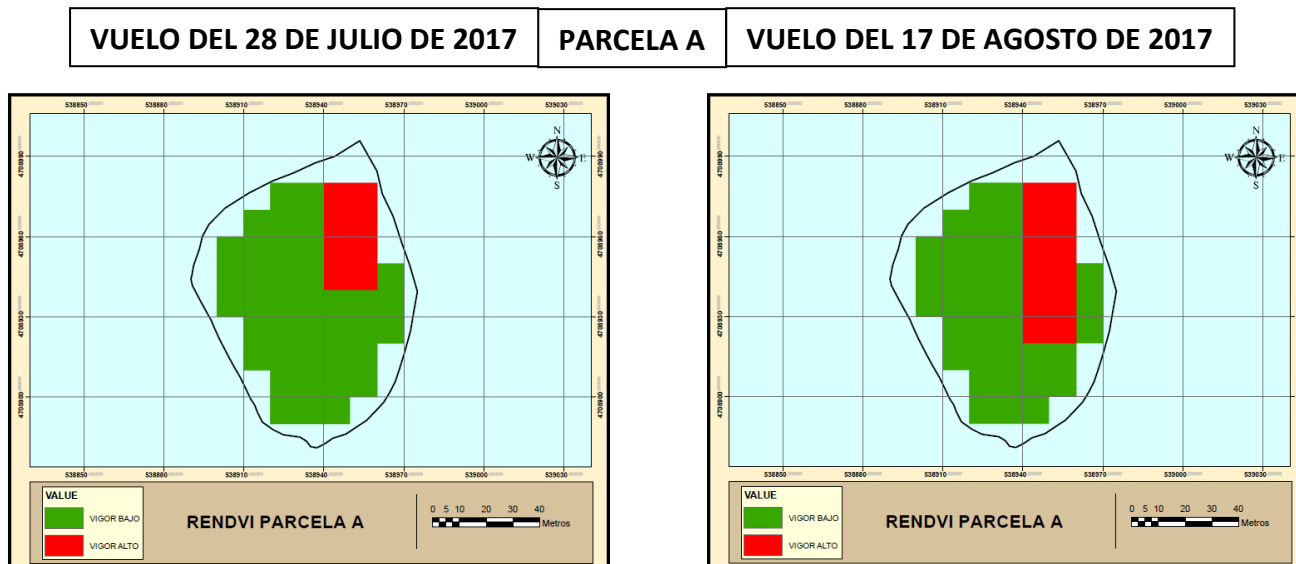


Ilustración 64. Se muestra los mapas de vigor continuo para cada uno de los cuatro IV en la parcela A. Fuente: elaboración propia.

La ilustración acerca de la parcela A, corrobora los datos estadísticos analizados anteriormente. Se observa un aumento de los valores de vigor alto de una fecha a otra, localizándose el vigor alto en la parte noreste de la parcela.

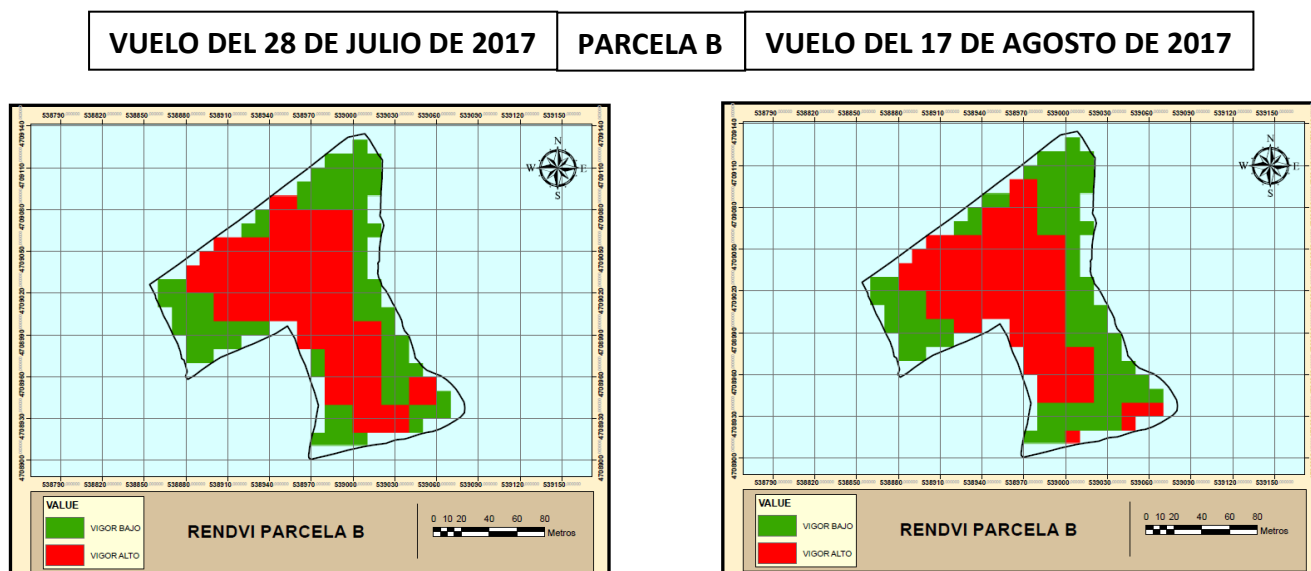


Ilustración 65. Se muestra los mapas de vigor continuo para cada uno de los cuatro IV en la parcela B. Fuente: Elaboración propia.

Tras realizar la interpretación visual, se constata de la similitud en los valores para ambos vuelos. Por otra parte, se visualiza que el vigor alto se concentra en la parte central (desde norte hasta el sur) de la parcela.

VUELO DEL 28 DE JULIO DE 2017

PARCELA C

VUELO DEL 17 DE AGOSTO DE 2017

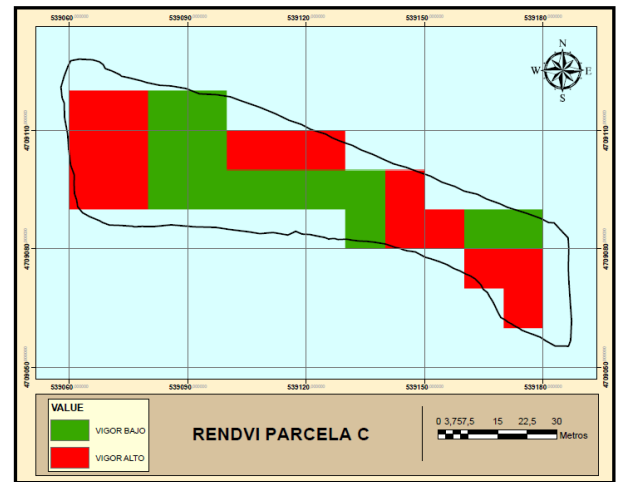
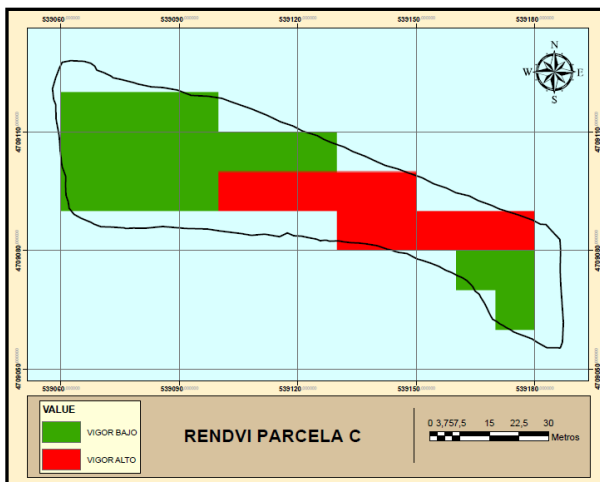


Ilustración 66. Se muestra los mapas de vigor continuo para cada uno de los cuatro IV en la parcela C. Fuente: Elaboración propia.

A grandes rasgos, la parcela C carece de un patrón a lo que a la zonificación del vigor se refiere. De manera mayoritaria el vigor alto se localiza en la parte centro-este de la parcela.

VUELO DEL 28 DE JULIO DE 2017

PARCELA D

VUELO DEL 17 DE AGOSTO DE 2017

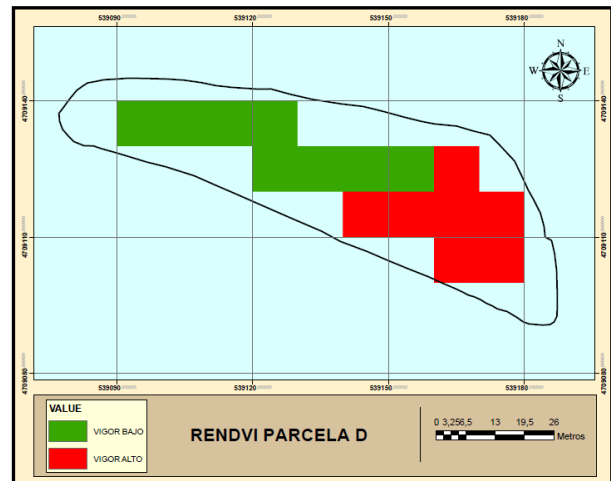
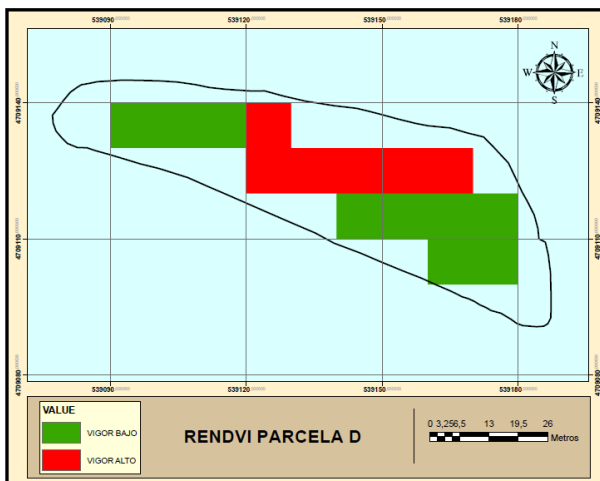


Ilustración 67. Se muestra los mapas de vigor continuo para cada uno de los cuatro IV en la parcela D. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la parcela D, al igual que la parcela C, varía en cuanto a la zonificación del vigor de una fecha a otra. Este hecho hace determinar que posiblemente la diferencia en cuanto a los valores de vigor, en esta parcela y en la anterior, sean muy similares.

6.6. COMPARATIVA DE RESULTADOS: PARROT SEQUOIA VS SENTINEL 2

Finalizados los procesos de zonificación de los sistemas RPAS y satelitales en dos rangos de vigores (Bajo y Alto), tal y como se ha señalado en los objetivos específicos de este documento, se ha pretendido, finalmente, efectuar una comparativa entre los resultados expuestos en los apartados anteriores.

Esta comparativa tiene como finalidad, observar la correlación existente en los resultados obtenidos por medio de las dos metodologías vistas en este proyecto (RPAS y Plataformas Satelitales).

En función de los resultados de correlación obtenidos se ha pretendido determinar la utilidad de las plataformas satelitales como Sentinel-2, para estudios de agricultura de precisión o viticultura de precisión como es el caso de este proyecto en cuestión.

6.6.1. MATRIZ DE CONFUSIÓN

A continuación se han expuesto los resultados de las matrices de confusión y las medidas de fiabilidad expuestas anteriormente, para cada una de las cuatro parcelas de las que se ha realizado el estudio y para los índices de vegetación NDVI y RENDVI.

❖ **COMPARACIÓN DEL 28 DE JULIO DE 2017**
PARCELA A
NDVI

FIABILIDAD GENERAL (FG)		72.75%		
ESTADÍSTICO KAPPA		0.4361		
	MATRIZ DE CONFUSIÓN (PÍXELES)			
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	2349	148	2497	
VIGOR ALTO	1125	1050	2175	
TOTAL	3474	1198	4672	
	MATRIZ DE CONFUSIÓN (PORCENTAJE)			
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	67.62	12.35	53.45	
VIGOR ALTO	32.38	87.65	46.55	
TOTAL	100	100	100	
	ERROR DE COMISIÓN Y OMISIÓN			
	PORCENTAJE		PÍXELES	
CLASES	EC	EO	EC	EO
VIGOR BAJO	5.93	32.38	148/2497	1125/3474
VIGOR ALTO	51.72	12.35	1125/2175	148/1198
	FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y USUARIO			
	PORCENTAJE		PÍXELES	
CLASES	FP	FU	FP	FU
VIGOR BAJO	67.62	94.07	2349/3474	2349/2497
VIGOR ALTO	87.65	48.28	1050/1198	1050/2175

RENDVI

FIABILIDAD GENERAL (FG)		69.03%		
ESTADÍSTICO KAPPA		0.3277		
	MATRIZ DE CONFUSIÓN (PÍXELES)			
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	2521	94	2615	
VIGOR ALTO	1353	704	2057	
TOTAL	3874	798	4672	
	MATRIZ DE CONFUSIÓN (PORCENTAJE)			
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	65.07	11.78	55.97	
VIGOR ALTO	34.93	88.22	44.03	
TOTAL	100	100	100	
	ERROR DE COMISIÓN Y OMISIÓN			
	PORCENTAJE		PÍXELES	
CLASES	EC	EO	EC	EO
VIGOR BAJO	3.59	34.93	94/2615	1353/3874
VIGOR ALTO	65.78	11.78	1353/2057	94/798
	FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y USUARIO			
	PORCENTAJE		PÍXELES	
CLASES	FP	FU	FP	FU
VIGOR BAJO	65.07	96.41	2521/3874	2521/2615
VIGOR ALTO	88.22	34.22	704/798	704/2057

Tabla 22. Se muestra los resultados de la matriz de confusión y parámetros de fiabilidad para la parcela A. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la matriz de confusión entre la zonificación el vigor por medio del sensor Parrot Sequoia y la plataforma satelital Sentinel-2, han arrojado una fiabilidad general, aproximadamente del 73% para el índice de vegetación NDVI y del 69% para el RENDVI.

Otra de las características que se han observado en la matriz de confusión, ha sido la correlación existente para ambos píxeles en cuanto a la correspondencia entre las zonificaciones del vigor de ambas metodologías. Es decir, se observa que la clase de vigor bajo ha tenido un acierto del 66% de media y la de vigor alto un 88% de media.

Finalmente, queda destacar que las zonas de vigor alto mal clasificadas o mal correlacionadas han sido de un porcentaje significativamente mayor que la de las zonas de vigor bajo. Este hecho se hace presente apreciando el error de comisión.

PARCELA B

NDVI

RENDVI

FIABILIDAD GENERAL (FG)		62.34%		
ESTADÍSTICO KAPPA		0.2375		
	MATRIZ DE CONFUSIÓN (PÍXELES)			
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	4484	5116	9600	
VIGOR ALTO	2409	7972	10381	
TOTAL	6893	13088	19981	
	MATRIZ DE CONFUSIÓN (PORCENTAJE)			
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	65.05	39.09	48.05	
VIGOR ALTO	34.95	60.91	51.95	
TOTAL	100	100	100	
	ERROR DE COMISIÓN Y OMISIÓN			
	PORCENTAJE		PÍXELES	
CLASES	EC	EO	EC	EO
VIGOR BAJO	53.29	34.95	5116/9600	2409/6893
VIGOR ALTO	23.21	39.09	2409/10381	5116/13088
	FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y USUARIO			
	PORCENTAJE		PÍXELES	
CLASES	FP	FU	FP	FU
VIGOR BAJO	65.05	46.71	4484/6893	4484/9600
VIGOR ALTO	60.91	76.79	7972/13088	7972/10381

FIABILIDAD GENERAL (FG)		61.41%		
ESTADÍSTICO KAPPA		0.2347		
	MATRIZ DE CONFUSIÓN (PÍXELES)			
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	5509	4962	10471	
VIGOR ALTO	2748	6762	9510	
TOTAL	8257	11724	19981	
	MATRIZ DE CONFUSIÓN (PORCENTAJE)			
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	66.72	42.32	52.4	
VIGOR ALTO	33.28	57.68	47.6	
TOTAL	100	100	100	
	ERROR DE COMISIÓN Y OMISIÓN			
	PORCENTAJE		PÍXELES	
CLASES	EC	EO	EC	EO
VIGOR BAJO	47.39	33.28	4962/10471	2748/8257
VIGOR ALTO	28.9	42.32	2748/9510	4962/11724
	FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y USUARIO			
	PORCENTAJE		PÍXELES	
CLASES	FP	FU	FP	FU
VIGOR BAJO	66.72	52.61	5509/8257	5509/10471
VIGOR ALTO	57.68	71.1	6762/11724	6762/9510

Tabla 23. Se muestra los resultados de la matriz de confusión y parámetros de fiabilidad para la parcela B. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de los resultados de la matriz de confusión de la parcela B, han presentado una fiabilidad general, aproximadamente del 62% para el índice de vegetación NDVI, frente al 61% del RENDVI, por lo que se concluye una correlación absoluta entre los resultados del sensor Sequoia y Sentinel-2 para cada uno de los índices.

Los aciertos en la correlación entre ambas metodologías (Sequoia vs Sentinel-2) se observan muy similares en ambos casos, tanto para el NDVI como para el RENDVI.

En cuanto a los errores de comisión son drásticamente más elevados para las zonas de vigor bajo tanto para ambos índices.

PARCELA C
NDVI
RENDVI

FIABILIDAD GENERAL (FG)				55.76%				FIABILIDAD GENERAL (FG)				51.33%			
ESTADÍSTICO KAPPA				0.1061				ESTADÍSTICO KAPPA				0.0465			
MATRIZ DE CONFUSIÓN (PÍXELES)								MATRIZ DE CONFUSIÓN (PÍXELES)							
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL					CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL				
VIGOR BAJO	561	672	1233					VIGOR BAJO	806	398	1204				
VIGOR ALTO	477	887	1364					VIGOR ALTO	866	527	1393				
TOTAL	1038	1559	2597					TOTAL	1672	925	2597				
MATRIZ DE CONFUSIÓN (PORCENTAJE)								MATRIZ DE CONFUSIÓN (PORCENTAJE)							
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL					CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL				
VIGOR BAJO	54.05	43.1	47.48					VIGOR BAJO	48.21	43.03	46.36				
VIGOR ALTO	45.95	56.9	52.52					VIGOR ALTO	51.79	56.97	53.64				
TOTAL	100	100	100					TOTAL	100	100	100				
ERROR DE COMISIÓN Y OMISIÓN								ERROR DE COMISIÓN Y OMISIÓN							
PORCENTAJE								PORCENTAJE							
CLASES	EC	EO	EC	EO				CLASES	EC	EO	EC	EO			
VIGOR BAJO	54.5	45.95	672/1233	477/1038				VIGOR BAJO	33.06	51.79	398/1204	866/1672			
VIGOR ALTO	34.97	43.1	477/1364	672/1559				VIGOR ALTO	62.17	43.03	866/1393	398/925			
FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y USUARIO								FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y USUARIO							
PORCENTAJE								PORCENTAJE							
CLASES	FP	FU	FP	FU				CLASES	FP	FU	FP	FU			
VIGOR BAJO	54.05	45.5	561/1038	561/1233				VIGOR BAJO	48.21	66.94	806/1672	806/1204			
VIGOR ALTO	56.9	65.03	887/1559	87/1364				VIGOR ALTO	56.97	37.83	527/925	527/1393			

Tabla 24. Se muestra los resultados de la matriz de confusión y parámetros de fiabilidad para la parcela C. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de los resultados de la matriz de confusión de la parcela C, han ofrecido una fiabilidad general, aproximadamente del 56% para el índice de vegetación NDVI, frente al 51% del RENDVI.

Las tablas de arriba, reflejan una similitud en cuanto a correlación existente entre ambos índices. Es decir, para el NDVI y RENDVI, la correlación entre los resultados del sensor Sequoia y los de Sentinel-2, presentan un mayor acierto en la zonificación de vigor alto. La disparidad, mientras tanto se observa en el acierto del vigor bajo, donde el NDVI muestra mejores resultados frente al RENDVI.

Finalmente, queda destacar que las zonas de vigor alto mal correlacionadas han sido de un porcentaje sensiblemente mayor en el vigor bajo del NDVI y en el vigor alto del RENDVI. Este hecho se puede observar en el error por comisión.

PARCELA D

NDVI

RENDVI

FIABILIDAD GENERAL (FG)				68.85%				FIABILIDAD GENERAL (FG)				40.56%			
ESTADÍSTICO KAPPA				0.3505				ESTADÍSTICO KAPPA				-0.1393			
MATRIZ DE CONFUSIÓN (PÍXELES)								MATRIZ DE CONFUSIÓN (PÍXELES)							
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL					CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL				
VIGOR BAJO	356	245	601					VIGOR BAJO	300	283	583				
VIGOR ALTO	212	654	866					VIGOR ALTO	589	295	884				
TOTAL	568	899	1467					TOTAL	889	578	1467				
MATRIZ DE CONFUSIÓN (PORCENTAJE)								MATRIZ DE CONFUSIÓN (PORCENTAJE)							
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL					CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL				
VIGOR BAJO	62.68	27.25	40.97					VIGOR BAJO	33.75	48.96	39.74				
VIGOR ALTO	37.32	72.75	59.03					VIGOR ALTO	66.25	51.04	60.26				
TOTAL	100	100	100					TOTAL	100	100	100				
ERROR DE COMISIÓN Y OMISIÓN								ERROR DE COMISIÓN Y OMISIÓN							
		PORCENTAJE		PÍXELES						PORCENTAJE		PÍXELES			
CLASES	EC	EO	EC	EO				CLASES	EC	EO	EC	EO			
VIGOR BAJO	40.77	37.32	245/601	212/568				VIGOR BAJO	48.54	66.25	283/583	589/889			
VIGOR ALTO	24.48	27.25	212/866	245/899				VIGOR ALTO	66.63	48.96	589/884	283/578			
FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y USUARIO								FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y USUARIO							
		PORCENTAJE		PÍXELES						PORCENTAJE		PÍXELES			
CLASES	FP	FU	FP	FU				CLASES	FP	FU	FP	FU			
VIGOR BAJO	62.68	59.23	356/568	356/601				VIGOR BAJO	33.75	51.46	300/889	300/583			
VIGOR ALTO	72.75	75.52	654/899	654/866				VIGOR ALTO	51.04	33.37	295/578	295/884			

Tabla 25. Se muestra los resultados de la matriz de confusión y parámetros de fiabilidad para la parcela D. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de los resultados de la matriz de confusión de la parcela D, han presentado una fiabilidad general, aproximadamente del 69% para el índice de vegetación NDVI, frente al 41% del RENDVI.

Las tablas de la parcela D, reflejan a diferencia de otras parcelas analizadas, una disparidad en cuanto a correlación existente entre ambos índices.

Los aciertos en la correlación entre ambas metodologías (Sequoia vs Sentinel-2) se observa drásticamente superior en el NDVI, siendo los píxeles con mayor error de comisión los de vigor bajo. Para el caso del índice RENDVI, el error por comisión se acentúa en ambas clases, siendo más elevado para el vigor alto.

❖ **COMPARACIÓN DEL 17 DE AGOSTO DE 2017**
PARCELA A
NDVI
RENDVI

FIABILIDAD GENERAL (FG)		72.09%			FIABILIDAD GENERAL (FG)		60.87%		
ESTADÍSTICO KAPPA		0.4556			ESTADÍSTICO KAPPA		0.2615		
	MATRIZ DE CONFUSIÓN (PÍXELES)					MATRIZ DE CONFUSIÓN (PÍXELES)			
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL		CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	1824	254	2078		VIGOR BAJO	1848	202	2050	
VIGOR ALTO	1050	1544	2594		VIGOR ALTO	1626	996	2622	
TOTAL	2874	1798	4672		TOTAL	3474	1198	4672	
	MATRIZ DE CONFUSIÓN (PORCENTAJE)					MATRIZ DE CONFUSIÓN (PORCENTAJE)			
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL		CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	63.47	14.13	44.48		VIGOR BAJO	53.2	16.86	43.88	
VIGOR ALTO	36.53	85.87	55.52		VIGOR ALTO	46.8	83.14	56.12	
TOTAL	100	100	100		TOTAL	100	100	100	
	ERROR DE COMISIÓN Y OMISIÓN					ERROR DE COMISIÓN Y OMISIÓN			
	PORCENTAJE		PÍXELES			PORCENTAJE		PÍXELES	
CLASES	EC	EO	EC	EO	CLASES	EC	EO	EC	EO
VIGOR BAJO	12.22	36.53	254/2078	1050/2874	VIGOR BAJO	9.85	46.8	202/2050	1626/3474
VIGOR ALTO	40.48	14.13	1050/2594	254/1798	VIGOR ALTO	62.01	16.86	1626/2622	202/1198
	FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y USUARIO					FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y USUARIO			
	PORCENTAJE		PÍXELES			PORCENTAJE		PÍXELES	
CLASES	FP	FU	FP	FU	CLASES	FP	FU	FP	FU
VIGOR BAJO	63.47	87.78	1824/2874	1824/2078	VIGOR BAJO	53.2	90.15	1848/3474	1848/2050
VIGOR ALTO	87.65	59.52	1544/1798	1544/2594	VIGOR ALTO	83.14	37.99	996/1198	996/2622

Tabla 26. Se muestra los resultados de la matriz de confusión y parámetros de fiabilidad para la parcela A. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la matriz de confusión para la parcela A de los vuelos posteriores al envero, han arrojado una fiabilidad general, aproximadamente del 72% para el índice de vegetación NDVI y del 61% para el RENDVI.

Al igual que para el anterior vuelo analizado, las correlaciones obtenidas para ambos índices presentan un resultado muy similar, siendo notoriamente superiores los píxeles acertados frente a los errados.

Por otra parte el error de comisión es claramente superior, tanto para el NDVI como el RENDVI, en la clase que corresponde al vigor alto, siendo por el contrario, el error de omisión más abultado en el vigor bajo.

PARCELA B

NDVI

RENDVI

FIABILIDAD GENERAL (FG)				69.30%	FIABILIDAD GENERAL (FG)				67.56%
ESTADÍSTICO KAPPA				0.3754	ESTADÍSTICO KAPPA				0.3489
MATRIZ DE CONFUSIÓN (PÍXELES)					MATRIZ DE CONFUSIÓN (PÍXELES)				
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL		CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	5601	3303	8904		VIGOR BAJO	6116	3478	9594	
VIGOR ALTO	2831	8246	11077		VIGOR ALTO	3004	7383	10387	
TOTAL	8432	11549	19981		TOTAL	9120	10861	19981	
MATRIZ DE CONFUSIÓN (PORCENTAJE)					MATRIZ DE CONFUSIÓN (PORCENTAJE)				
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL		CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	66.43	28.6	44.56		VIGOR BAJO	67.06	32.02	48.02	
VIGOR ALTO	33.57	71.4	55.44		VIGOR ALTO	32.94	67.98	51.98	
TOTAL	100	100	100		TOTAL	100	100	100	
ERROR DE COMISIÓN Y OMISIÓN					ERROR DE COMISIÓN Y OMISIÓN				
PORCENTAJE		PÍXELES			PORCENTAJE		PÍXELES		
CLASES	EC	EO	EC	EO	CLASES	EC	EO	EC	EO
VIGOR BAJO	37.1	33.57	3303/8904	2831/8432	VIGOR BAJO	36.25	32.94	3478/9594	3004/9120
VIGOR ALTO	25.56	28.6	2831/11077	3303/11549	VIGOR ALTO	28.92	32.02	3004/10387	3478/10861
FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y USUARIO					FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y USUARIO				
PORCENTAJE		PÍXELES			PORCENTAJE		PÍXELES		
CLASES	FP	FU	FP	FU	CLASES	FP	FU	FP	FU
VIGOR BAJO	66.43	62.9	5601/8432	5601/8904	VIGOR BAJO	67.06	63.75	6116/9120	6116/9594
VIGOR ALTO	71.4	74.44	8246/11549	8246/11077	VIGOR ALTO	67.98	71.08	7383/10861	7383/10387

Tabla 27. Se muestra los resultados de la matriz de confusión y parámetros de fiabilidad para la parcela B. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la matriz de confusión para la parcela B de los vuelos posteriores al envero, han arrojado una fiabilidad general, aproximadamente del 69% para el índice de vegetación NDVI y del 68% para el RENDVI.

Respecto al vuelo anterior, los resultados ofrecen una similitud significativa, siendo notoriamente superiores los píxeles acertados frente a los errados.

Por otra parte el error de comisión es sensiblemente superior, tanto para el NDVI como el RENDVI, en la clase que corresponde al vigor bajo, de igual manera, el error de omisión más abultado se presenta en el vigor bajo.

PARCELA C
NDVI

FIABILIDAD GENERAL (FG)		65.13%		
ESTADÍSTICO KAPPA		0.2964		
	MATRIZ DE CONFUSIÓN (PÍXELES)			
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	685	352	1037	
VIGOR ALTO	553	1007	1560	
TOTAL	1238	1359	2597	
	MATRIZ DE CONFUSIÓN (PORCENTAJE)			
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	55.33	25.9	39.93	
VIGOR ALTO	44.67	74.1	60.07	
TOTAL	100	100	100	
	ERROR DE COMISIÓN Y OMISIÓN			
	PORCENTAJE		PÍXELES	
CLASES	EC	EO	EC	EO
VIGOR BAJO	33.94	44.67	352/1037	553/1238
VIGOR ALTO	35.45	25.9	553/1560	235/1359
	FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y USUARIO			
	PORCENTAJE		PÍXELES	
CLASES	FP	FU	FP	FU
VIGOR BAJO	55.33	66.06	685/1238	685/1037
VIGOR ALTO	74.1	64.55	1007/1359	1007/1560

RENDVI

FIABILIDAD GENERAL (FG)		47.32%		
ESTADÍSTICO KAPPA		-0.06		
	MATRIZ DE CONFUSIÓN (PÍXELES)			
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	474	587	1061	
VIGOR ALTO	781	755	1536	
TOTAL	1255	1342	2597	
	MATRIZ DE CONFUSIÓN (PORCENTAJE)			
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	37.77	43.74	40.82	
VIGOR ALTO	62.23	56.26	59.15	
TOTAL	100	100	100	
	ERROR DE COMISIÓN Y OMISIÓN			
	PORCENTAJE		PÍXELES	
CLASES	EC	EO	EC	EO
VIGOR BAJO	55.33	62.23	587/1061	781/1255
VIGOR ALTO	50.85	43.74	781/1536	587/1342
	FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y USUARIO			
	PORCENTAJE		PÍXELES	
CLASES	FP	FU	FP	FU
VIGOR BAJO	37.77	44.67	474/1255	474/1061
VIGOR ALTO	56.26	49.15	755/1342	755/1536

Tabla 28. Se muestra los resultados de la matriz de confusión y parámetros de fiabilidad para la parcela C. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la matriz de confusión para la parcela C de los vuelos posteriores al invierno, han arrojado una fiabilidad general, aproximadamente del 65% para el índice de vegetación NDVI y del 47% para el RENDVI.

Las tablas de la parcela C, reflejan una similitud en cuanto a correlación existente entre ambos índices. Es decir, para el NDVI y RENDVI, la correlación entre los resultados del sensor Sequoia y los de Sentinel-2, presentan un mayor acierto en la zonificación de vigor alto. La disparidad, mientras tanto se observa en el acierto del vigor bajo, donde el NDVI muestra mejores resultados frente al RENDVI.

Finalmente, se observa un error por omisión más elevado que el de comisión. Este hecho se debe al menor tamaño de la parcela y al tamaño del pixel de la plataforma satelital Sentinel-2.

PARCELA D

NDVI

RENDVI

FIABILIDAD GENERAL (FG)				61.96%	FIABILIDAD GENERAL (FG)				42.06%
ESTADÍSTICO KAPPA				0.2203	ESTADÍSTICO KAPPA				-0.01167
MATRIZ DE CONFUSIÓN (PÍXELES)					MATRIZ DE CONFUSIÓN (PÍXELES)				
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL		CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	323	214	537		VIGOR BAJO	321	282	603	
VIGOR ALTO	344	586	930		VIGOR ALTO	568	296	864	
TOTAL	667	800	1467		TOTAL	889	578	1467	
MATRIZ DE CONFUSIÓN (PORCENTAJE)					MATRIZ DE CONFUSIÓN (PORCENTAJE)				
CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL		CLASES	VIGOR BAJO	VIGOR ALTO	TOTAL	
VIGOR BAJO	48.43	26.75	36.61		VIGOR BAJO	36.11	48.79	41.1	
VIGOR ALTO	51.57	73.25	63.39		VIGOR ALTO	63.89	51.21	58.9	
TOTAL	100	100	100		TOTAL	100	100	100	
ERROR DE COMISIÓN Y OMISIÓN					ERROR DE COMISIÓN Y OMISIÓN				
PORCENTAJE		PÍXELES			PORCENTAJE		PÍXELES		
CLASES	EC	EO	EC	EO	CLASES	EC	EO	EC	EO
VIGOR BAJO	39.85	51.57	214/537	344/667	VIGOR BAJO	46.77	63.89	282/603	568/889
VIGOR ALTO	36.99	26.75	344/930	214/800	VIGOR ALTO	65.74	48.79	568/864	282/578
FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y USUARIO					FIABILIDAD DEL PRODUCTOR Y USUARIO				
PORCENTAJE		PÍXELES			PORCENTAJE		PÍXELES		
CLASES	FP	FU	FP	FU	CLASES	FP	FU	FP	FU
VIGOR BAJO	48.43	60.15	323/667	323/537	VIGOR BAJO	36.11	53.23	321/889	321/603
VIGOR ALTO	73.25	63.01	586/800	586/930	VIGOR ALTO	51.21	34.26	296/578	296/864

Tabla 29. Se muestra los resultados de la matriz de confusión y parámetros de fiabilidad para la parcela D. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de los resultados de la matriz de confusión de la parcela D, han presentado una fiabilidad general, aproximadamente del 62% para el índice de vegetación NDVI, frente al 42% del RENDVI.

Las tablas de la parcela D, reflejan a diferencia de otras parcelas analizadas, una disparidad en cuanto a correlación existente entre ambos índices.

Los aciertos en la correlación entre ambas metodologías (Sequoia vs Sentinel-2) se observa drásticamente superior en el NDVI, siendo los píxeles con mayor error de comisión los de vigor bajo. Para el caso del índice RENDVI, el error por comisión se acentúa en ambas clases, siendo más elevado para el vigor alto.

El error de omisión se hace presente nuevamente por motivo del reducido tamaño de la parcela de estudio.

7. CONCLUSIÓN

Finalizado el proyecto del seguimiento de viñas por medio de imágenes multiespectrales aéreas y de satélite, se determina pertinente reseñar que las conclusiones planteadas en este apartado son de carácter preliminar.

Esto se debe a los plazos de crecimiento, maduración y vendimia del producto analizado, que tiene como norma, la finalización de dichos plazos a finales de septiembre con la vendimia de la uva.

En consecuencia de lo expuesto, se dicta la imposibilidad de la realización de un seguimiento completo en las diferentes etapas fenológicas del cultivo, impidiendo cotejar los resultados de vigor obtenidos, con los datos de rendimiento (acidez, azúcar, índice alcohólico, etc.) de la uva extraídos tras la vendimia.

A pesar del contratiempo expresado, se han podido determinar diversas conclusiones de gran interés que se van a pormenorizar a continuación.

De manera preliminar, cabe mencionar la importancia de disponer de un Modelo Digital de Superficies y ortomosaicos, ya que proporcionan una información auxiliar de la zona de estudio.

En primera instancia, en lo que a los diferentes índices de vegetación analizados se refiere (NDVI, GNDVI, RENDVI, TVI), se ha observado en los resultados obtenidos una alta correlación entre cada uno de ellos. Por lo que las diferencias percibidas para este tipo de cultivo han sido ínfimas.

Este motivo ha ocasionado una mayor complejidad a la hora de la selección del índice óptimo para este tipo de cultivo, que finalmente se ha estimado como el índice RENDVI debido a la banda en la región del Red-Edge que emplea para el cálculo. Este rango del espectro electromagnético es una parte de vital importancia en el análisis del estado de los cultivos.

En segundo lugar, otra de las conclusiones extraída, ha sido la necesaria planificación previa a lo que el proceso del vuelo del RPAS respecta. Evitar las horas centrales del día, cuando el ángulo de observación del Sol excede de los 40 grados incrementa sustancialmente el efecto de reflexión especular o hot spot.

En lo que a la variabilidad en el cultivo de la vid respecta, cabe reseñar que en términos generales la variabilidad se ha visto condicionada de manera significativa con la pendiente o desnivel de las parcelas analizadas. Se ha observado una alta correlación negativa entre el vigor del cultivo y la pendiente, siendo el vigor mayor en zonas llanas de las parcelas y disminuyendo en regiones de pendiente.

Respecto a la variabilidad en las diferentes fechas en las que se ha analizado el cultivo, las diferencias observadas han sido a grandes rasgos, inexistentes. Por este motivo, queda evidente que el análisis multiespectral en el cultivo de la vid debe realizarse en la etapa fenológica del envero.

En cuarto lugar, otro dato a tener en cuenta para la interpretación o análisis de los resultados obtenidos, ha sido establecer que el momento de mayor correlación entre el vigor y la calidad de la uva se da en la etapa fenológica del envero para este tipo de cultivo.

Otro de los puntos a remarcar en este proyecto, ha sido la utilidad de la aplicación de QGIS Cloud para ofrecer al cliente un acceso web desde el Smartphone a la información gráfica de índices de vegetación y mapas de vigor de sus parcelas

El objetivo específico de este proyecto ha sido determinar la correlación en los resultados entre las dos metodologías explicadas (RPAS vs Plataforma satelital). A modo de conclusión se ha determinado a grandes rasgos, una correlación significativa, siendo las parcelas con grandes extensiones las que ofrecen mejor la variabilidad del cultivo.

Por contra, parcelas con extensiones reducidas y con morfología alargada no favorecen la obtención de buenos resultados mediante plataformas satelitales, aunque, sorprendentemente el estudio ha arrojado una correlación más que aceptable para este tipo de parcelas.

Un dato a tener en cuenta ha sido la mayor correlación que ha presentado en todo momento el índice de vegetación NDVI respecto al RENDVI. Este hecho se ha observado en el análisis efectuado para cada parcela por medio de la matriz de confusión.

Por contextualizar esta conclusión, cabe remarcar que ambos sensores empleados no operan en la misma longitud de onda ni la anchura de las bandas son idénticas. La variación de estos parámetros puede justificar el porqué de esta diferencia en correlación, siendo dos índices de características similares.

Finalmente, a modo de resumen, cabe apostillar la gran utilidad de las imágenes multiespectrales obtenidas desde RPAS que tienen como finalidad realizar el seguimiento de este tipo de cultivo. Este sistema ofrece una gran precisión en los resultados, siendo la captura de datos y el post-proceso más complicado que la otra metodología analizada.

En el lado contrario se sitúan las imágenes multiespectrales obtenidas desde plataformas satelitales. Este método de análisis ofrece resultados de carácter más global, siendo la captura de datos y el post-proceso de menor complicación que la metodología anterior.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA, Marco Regulatorio de Drones, <http://www.seguridadaerea.gob.es/>, última consulta 5 de junio de 2017.

ÁLVAREZ, R., HUETE, J., LÓPEZ, M., BEA, M., FERNÁNDEZ, L., MONTESINOS, S. (2006). Integración de nuevos métodos de diagnóstico en la gestión de información agrícola para mejorar la rentabilidad y la sostenibilidad. Revista Fruticultura profesional nº 161: 81-87. ISSN: 1131-5660

ArcGIS, Manual de ayuda de ArcGIS, disponible en <https://pro.arcgis.com/es/>, última consulta 20 de agosto de 2017.

ARTINEZ DE TODA, F. (2007). Claves de la viticultura de calidad. Nuevas técnicas de estimación y control de la calidad de la uva en el viñedo. Mundi-Prensa. Madrid.

AUVSI (2013), The economic impact of Unmanned Aircraft Systems integration in the USA, disponible en:
http://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/AUVSI/958c920a-7f9b-4ad2-9807-f9a4e95d1ef1/UploadedImages/New_Economic%20Report%202013%20Full.pdf

BARRIENTOS, A., DEL CERRO, J., GUTIÉRREZ, P., SAN MARTÍN, R., MARTÍNEZ, A., & ROSSI, C. (2007). Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. Tecnología y aplicaciones. Universidad politécnica de Madrid, Madrid.

BERNI JA, ZARCO-TEJADA PJ, SUAREZ L, FERERES E (2009). Thermal and narrow-band multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing ; 47: 722-38.

BEST, S.; LEON, L. (2005). Uso de herramientas de viticultura de precisión para optimizar la cosecha de uvas de mejor calidad. Actas Instituto de Investigaciones Agropecuarias.39.159-165.

BRAMLEY, R.G.V. & PROFFITT, A.P.B. (1999). Managing variability in viticultural production. Grapegrower and Winemaker. 427: 11– 16.

CASTERAD, M.; LÓPEZ, R. Y ACEVEDO, A. (2008). Uso de técnicas SIG y teledetección en el seguimiento del cultivo de viña. Centro de Investigación y tecnología agroalimentaria de Aragón.

CHUVIECO SALINERO, E. (2002). Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio. ed Ariel Ciencia. Barcelona, España. 57-60.

DÍAZ, J. J. (2015), “Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión”. Trabajo Fin de Master. Universidad Complutense de Madrid.

DJI, Phantom 4 Especificaciones, disponible en <http://www.dji.com/es>, última consulta 30 de junio de 2017.

FLORES, L.A. (2005). Variabilidad espacial del rendimiento de uva y calidad del mosto en cuarteles de vid cv. Cabernet Sauvignon y Chardonnay en respuesta a la variabilidad de algunas propiedades del suelo. Agricultura Tecnica (Chile).

GARCIA, J. ; GARCIA, F. ; MARTINEZ, A. (2008). Contabilidad de costes del cultivo de uva de vinificación de secano en la región de Murcia. Viticultura /Enología profesional.

HALL, A., LOUIS, J. & LAMB, D. (2003). Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. Computers and Geosciences. 29: 813-822.

MANIJEH KESHTGARI; AMENE DELJOO, A Wireless Sensor Network Solution for Precision Agriculture Based on ZigBee Technology

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. Y BORDES, X. (2005). Viticultura de precisión: Predicción de cosecha a partir de variables del cultivo e índices de vegetación.

MONTESINOS, S., BEA, M., FERNÁNDEZ, L., ÁLVAREZ, R. (2007). Las imágenes de satélite en la gestión de la viña. Revista Enología nº 5. Año IV Septiembre-Octubre 2007. ISSN: 1668-3889

PARROT, Parrot Sequoia, disponible en <http://www.parrot.com/es/>, última consulta 15 de junio de 2017.

PEREZ, M.; AGUERA, J. (2005). La agricultura de precisión aplicada al cultivo de la vid. Vida Rural. 212: 48-53.

Pix4D, Manual, disponible en www.pix4d.com, última consulta 1 de junio de 2016.

SANTESTEBAN, L.G., MIRANDA, C., FUENTECILLA, M., TISSEYRE, B., GUILLAUME, S. Y ROYO, J.B. 2009. Evaluación del interés del índice NDVI para la delimitación de unidades de manejo diferenciado dentro de una explotación vitícola.

TARDAGUILA, J.; BARRAGAN, F.; YANGUAS, R.; DIAGO M.P. (2008). Estimación de la variabilidad del vigor del viñedo a través de un sensor óptico lateral terrestre. Vida Rural. 271: 34-36.

T. DE FILIPPIS; L. ROCCHI; E. FIORILLO; L. GENESIO, (2000). A WebGIS application for precision viticulture: From research to operative practices.

YUSTE MARTÍN, R.; VARGAS VELASCO, N.; Y MOYA HERNÁNDEZ, J. Departamento de Vehículos Aéreos no Tripulados. Zumain Ingenieros S.L. "Teledetección ambiental de alta resolución mediante aplicación de vehículos aéreos no tripulados".

ANEXOS

ANEXO 1: TUTORIAL AGISOFT PHOTOSCAN

ANEXO 2: MDS Y ORTOFOTOS

ANEXO 3: MAPAS DE VIGOR POR HILERAS (PARROT SEQUOIA)

ANEXO 4: MÉTODO DE INTERPOLACIÓN KRIGING CON EL SOFTWARE
ESTADÍSTICO R

ANEXO 5: MAPAS DE VIGOR CONTINUO (PARROT SEQUOIA)

ANEXO 6: MAPAS DE VIGOR CONTINUO (SENTINEL-2)